Bedarfsentwicklung, Herstellungsverfahren und Produktionsorganisation in der deutschen Stahlröhrenindustrie

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Wirtschaftlichen Staatswissenschaften
der Rechts- und Staatswissenschaftlichen Fakultät
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Vorgelegt von

Franz Köhler
Diplom-Ingenieur aus Suhl

Berichterstatter: o. Professor Dr. G. Jahn

Halle (Saale) 1934

Eduard Klinz Buchdruck-Werkstätten Halle (Saale), Dölauer Straße 14

Bedarfsentwicklung, Herstellungsverfahren und Produktionsorganisation in der deutschen Stahlröhrenindustrie

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Wirtschaftlichen Staatswissenschaften
der Rechts- und Staatswissenschaftlichen Fakultät
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Vorgelegt von

Franz Köhler
Diplom-Ingenieur aus Suhl

Berichterstatter: o. Professor Dr. G. Jahn

Halle (Saale) 1934

Eduard Klinz Buchdruck-Werkstätten Halle (Saale), Dölauer Straße 14

BIBLIOTHEEK
RIJKS
UNIV
LEIDEN

Meiner lieben Frau

INHALT.

Seite

I. Abschnitt: Die Entfaltung des Bedarfs an Röhren . . . 1
a) In quantitativer Hinsicht 1
b) In qualitativer Hinsicht 18
II. Abschnitt: Die Entwicklung der Herstellungsverfahren (bis zum heutigen Stand) 26
A. Für geschweißte Stahlrohre 27
a) Stumpfgeschweißte 27
b) Ueberlappt geschweißte 31
c) Koksgas- und Wassergas-geschweißte 32
d) Spiralgeschweißte 34
e) Autogen geschweißte 36
f) Elektrisch geschweißte 38
B. Für nahtlose Stahlrohre 41
a) Walzverfahren 41
1. Duowalzwerke, Schwedenstraße, Automatic-Verfahren 41
2. Mannesmann-Schrägwalzverfahren 44
3. Pilgerschrittverfahren 48
4. Schrägwalzverfahren nach Stiefel 53
5. Aufweitewalzverfahren 54
6. Kontinuierliches Rohrwalzverfahren . . . 55
7. Sonderwalzverfahren für große Rohre nach Roeckner 60
b) Preß- und Walzverfahren 60
Ehrhardt-Verfahren einschl. verschiedener Preßverfahren 60
c) Spritzverfahren 67
d) Ziehverfahren 69
1. Warmziehen 69
2. Kaltziehen 70
a) Stopfenzieherei 70
b) Stangenzieherei 71
e) Gebohrte Rohre 74
III. Abschnitt: Die Entwicklung der Unternehmungen und Betriebe 76
A. Die Unternehmungen und die Zusammenschlußbewegung 76
a) Entwicklung und Konzentration 76
b) Stand der Unternehmungen 83
B. Die Betriebe 89
a) Nach Arbeitsverfahren 89
b) Nach Standortsverteilung 92
c) Nach Arbeiterzahlen und Größenklassen . . . 93
d) Nach gewerblichen Niederlassungen und motorischer Kraft 94
C. Die Betriebsorganisation 95
a) Der Aufbau der Betriebe 95
b) Die technische Ausstattung 101
D. Die Absatzorganisation (Röhrenverband) 111
Literaturverzeichnis 117

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41534918_0062

VORWORT.

Die Anregung zu der vorliegenden Arbeit empfing ich von dem ordentlichen Professor der Staatswissenschaften an der Universität Halle-Wittenberg, Herrn Dr. Georg Jahn, auf Grund der von mir in der Röhrenfabrikation gesammelten Erfahrungen. Für das der Durchführung der Arbeit entgegengebrachte fördernde Interesse bin ich Herrn Prof. Dr. Jahn zu großem Dank verpflichtet, was ich an dieser Stelle gerne zum Ausdruck bringe.

Ferner ist es mir eine angenehme Pflicht der Firma Demag Aktiengesellschaft in Duisburg, Abteilung Rohrwalzwerksbau, für die bereitwillige Ueberlassung der in der Arbeit verwendeten Druckstöcke nochmals meinen besten Dank auszusprechen.

I. Abschnitt:
Die Entfaltung des Bedarfs an Röhren.

a) In quantitativer Hinsicht.

Das Anwendungsgebiet für Röhren erstreckt sich heute auf alle Zweige der Industrie, des Handwerks und der Landwirtschaft. Die Entwicklung der technischen Kultur ist ohne gleichzeitige Mitentwicklung der Möglichkeit der Massenherstellung von Röhren und nicht zuletzt auch bezüglich der Qualitätsentwicklung der Rohre selbst nicht denkbar. Das Rohr ist zu einem unentbehrlichen Bestandteil der heutigen Lebensbedingungen und der Lebensmöglichkeit der Menschheit geworden, besonders seitdem sie, als Begleiterscheinung der fortschreitenden Industrialisierung zu einem großen Prozentsatz in direkt besiedelten Industrierevieren, in Städten und Großstädten auf engem Raum zusammengedrängt leben muß. Zu der ältesten Verwendung des Rohres, nämlich zur Fortleitung von Wasser, traten im Laufe der Zeit weitere Verwendungsgebiete, die durch die einsetzende Industrialisierung, beginnend mit der Erfindung der Dampfmaschine, neu entstanden und sich im 19. Jahrhundert bis zur Jetztzeit fortwährend verbreiterten. Vor allen Dingen entwickelte sich im 19. Jahrhundert der Bedarf an Stahlrohren außer für die Wasserversorgung der Bevölkerung noch auf dem großen Gebiete der Energiewirtschaft für Dampf-, Gas-, Heiz-, Kühl- und Preßluftleitungen, für kriegerische Zwecke wie z. B. zur Erzeugung von Kanonenrohren, Flintenläufen, Projektilen, Granaten, Lafettenachsen, Lanzenschäften usw., für Kanalisations- und Rohrpostleitungen, für die Fahrrad- und Automobilindustrie, für Hohlmaste für Schiffe, Telegrafen-, Telefon- und elektrische Leitungen, für Bohrrohre und Oelleitungen, für Apparate und Maschinenteile zu fast allen gewerblichen Zwecken sowie für zahllose im Haushalt und in der Technik benötigte Geräte.

Die Entwicklung des Bedarfs an Rohren in Deutschland soll nachstehend an einigen Beispielen für einige Hauptverwendungsgebiete (Wasser-, Dampf-, Gasversorgung usw.) untersucht werden.

1. Wasserversorgung.

Von jeher war die Befriedigung des Wasserbedarfs die notwendige Voraussetzung jeglicher menschlichen Siedlung. Der Bedarf wurde im Altertum und Mittelalter bis zur Neuzeit in der Hauptsache durch Brunnenanlagen gedeckt, die auch, wenn sie unter den Gesichtspunkten der Wassertechnik und der Wasserhygiene hergestellt waren, einwandfreies Wasser lieferten. Mit fortschreitender dichterer Siedlung reichte bald die hygienische Versorgung der Bevölkerung mit Wasser durch Brunnenanlagen allein nicht mehr aus. Immer mehr drängte die Entwicklung dazu, in den Städten besondere Wasseranlagen zu errichten, von denen aus das Wasser durch Rohrleitungen den einzelnen Verbrauchsgebieten zugeleitet werden konnte. Die schon seit dem Altertum immer wieder versuchte Durchführung der Wasserbeförderung durch Druck auf höher gelegene Gebiete, die noch bis nach der Zeit Friedrichs des Großen an dem geeigneten Rohrmaterial und dem Fehlen fabrikatorischer Herstellungsverfahren scheiterte, drängte infolge der Zusammenballung der Menschheit in dichtbesiedelten Städten immer mehr zu einer Lösung, die es gestattete, Wasser unter Druck bis in die obersten Stockwerke der Häuser zu befördern, besonders da durch eine solche Wasserversorgung auch die beste Grundlage in der Bekämpfung der zerstörenden Macht des Feuers gesehen wurde.

Die Lösung der fabrikatorischen Herstellung billiger und druckfester Rohre aus Eisen und Stahl schuf mit einem Schlag dem Ausbau der Wasserversorgung die längst ersehnten Voraussetzungen und sich selbst damit einen steigenden und anhaltenden Bedarf.

Die ersten zentralen Wasserwerke wurden in Deutschland in der Mitte des vorigen Jahrhunderts gebaut und zwar wesentlich unter den Eindrücken von Brandschäden in großen Städten, wie nach dem großen Brand in Hamburg im Jahre 1842, der dort 1849 zum Bau des ersten zentralen Wasserwerks in Deutschland Veranlassung gab. Die weitere Entwicklung zum Ausbau zentraler Wasserversorgungen in Deutschland vollzog sich in enger Anlehnung an den Aufschwung der Wissenschaft, Technik und Wirtschaft in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts.

Wie sich die Wasserversorgung der Bevölkerung im Laufe des vorigen Jahrhunderts bis zur Jetztzeit entwickelte, läßt sich beispielsweise für das Land Bayern aus den „Beiträgen zur Statistik Bayerns“ [1] verfolgen.

Von 27969 bayrischen Ortschaften haben 23461 Angaben über die Bauzeit ihrer Wasserleitungen gemacht. Hiernach sind die Wasserleitungen dieser Orte in den nachstehenden Zeiträumen entstanden:

vor 1850:	2 713 Orte	(einfache Laufbrunnenanlage, meist Holzrohrleitungen)
von 1850—1900:	8 087 Orte	
seit 1900:	12 661 Orte	
	Sa. 23 461 Orte.	

[1]) Die Wasserversorgung in Bayern nach dem Stande vom 1. 1. 1928 (Heft 120 der Beiträge zur Statistik Bayerns. München 1930).

Im Einzelnen ergibt die Statistik eine genaue Uebersicht der Entwicklung in der Angabe des Baues von Wasserleitungen in den kreisunmittelbaren Städten, den übrigen Städten, Märkten und sonstigen größeren bayrischen Ortschaften mit mehr als zweitausend Einwohnern und der Gruppenwasserversorgungen.

a) Kreisunmittelbare Städte.

Tabelle 1.

Jahr	Zahl der Wasser-leitungen	Zugang an Wasser-leitungen	Zugang in %	in % seit 1879
1856	1	—	—	—
1859	2	1	100	—
von 1860—1869	6	4	200	—
von 1870—1879	14	8	133	—
von 1880—1889	31	17	121	121
von 1890—1899	56	25	80	179
von 1900—1909	68	12	21,5	86

b) Städte, Märkte und Ortschaften mit mehr als 2000 Einwohnern.

Von den am 1. 1. 1928 in Bayern vorhandenen, der Voraussetzung entsprechenden 250 Orten, waren 46 noch nicht oder unvollkommen mit Wasserleitungen versorgt. Eine Ortschaft hat keine Angaben gemacht. Die Bauzeiten sind folgende:

Tabelle 2.

Jahr	Zahl der Wasser-leitungen	Zugang an Wasser-leitungen	Zugang in %	in % seit 1879
1850—1879	11	—	—	—
1880—1889	33	22	200	200
1890—1899	82	49	148	445
1900—1909	152	70	85	640
1910—1919	183	31	20,5	282
seit 1920	203	20	11	182

c) Gruppen-Wasserversorgung.

Es gibt zur Zeit 157 größere bayrische Gruppen-Wasserversorgungen, von deren Entstehung Tabelle III einen Ueberblick gibt:

Tabelle 3.

Jahr	Zahl der Wasser-leitungen	Zugang an Wasser-leitungen	Zugang in %	in % seit 1879
1880—1889	3	—	—	—
1890—1899	21	18	600	600
1900—1909	67	46	219	1530
1910—1919	123	56	83,5	1860
seit 1920	157	34	27,6	1130

Die Zusammenfassung der Tabellen 1—3 ergibt die Zahl und Bauzeiten der in Bayern in den Orten über 2000 Einwohnern vorhandenen Wasserleitungen einschließlich der Gruppen-Versorgungen in

Tabelle 4.

Jahr	Zahl der Wasserleitungen	Zugang an Wasserleitungen	Zugang in %	in % seit 1879
vor 1880	25	—	—	—
von 1880—1889	67	42	168	168
von 1890—1899	159	92	137	367
von 1900—1909	287	128	81	512
von 1910—1919	374	87	30	348
seit 1920	428	54	—	—

Die Tabellen zeigen, daß in den Jahren nach 1880 der Ausbau des Landes mit Wasserleitungen ein verschärftes Tempo erfuhr, das sich in den Jahren von 1890 an noch fortwährend bis 1909 steigerte und auch dann nur wenig zurückging.

Auch über das bis zum 1. 1. 1928 zur Verwendung gekommene Rohr-Leitungsmaterial sucht die Statistik Aufklärung zu geben. Als Rohrmaterial sind erfaßt worden: Gußrohre, jutierte Mannesmann-Stahlrohre, Schmiedeeisenrohre (schwarz und verzinkt), Ton- und Steinzeugrohre sowie Holzrohre. Von den 27 969 mit Wasserleitung versorgten Orten haben 25 171 Orte Angaben über das Material ihrer Hauptrohrleitungen gemacht, während hiervon nur 13 706 Orte Angaben über die Leitungslängen und 16 601 Orte Angaben über das Material ihrer Hausanschlußleitungen geliefert haben.

Die Ergebnisse sind in den nachstehenden Tabellen zusammengestellt:

Hauptrohrleitungen:

Tabelle 5:

Unterteilung des Materials nach Zahl der Ortschaften.

Art des Rohrmaterials	Zahl der Orte	%	
Gußrohre	4 091	16,3	
Jutierte Mannesmann-Stahlrohre	1 626	6,5	55,0 %
Schmiedeeisenrohre (schwarz und verzinkt)	12 219	48,5	
Ton- und Steinzeugrohre	190	0,75	
Holzrohre	2 773	11,0	
Bleirohre	187	0,74	
Verschiedenes Rohrmaterial der vorgenannten Arten	4 085	16,21	
Sa.	25 171	100,00	

Tabelle 6:

Unterteilung des Materials nach Zahl der Ortschaften und nach Leitungslängen.

Art des Rohmateriats	Zahl der Orte	%	Leitungslänge in km	%
Gußrohre	2 714	19,8	7 235	43,4
Jutierte Mannesmann-Stahlrohre	1 125	8,3	2 172	13,0
Schmiedeeisenrohre, (schwarz oder verzinkt)	6 497	47,4	3 436	20,4
Ton- und Steinzeugrohre	72	0,5	77	0,45
Holzrohre	898	6,5	381	2,28
Bleirohre	71	0,5	30	0,17
Verschiedenes Rohrmaterial der vorgenannten Arten	2 329	17,0	3 387	20,3
Sa.	13 706	100,0 %	16 718,0	100,0 %

Hausanschlußleitungen:

Tabelle 7:
Unterteilung des Rohrmaterials nach Zahl der Ortschaften.

Art des Rohrmaterials	Zahl der Orte	%	
Gußrohre	1 524	9,14	
Jutierte Mannesmann-Stahlrohre	1 178	7,1	80,7 %
Schmiedeeiserne Rohre (schwarz oder verzinkt)	12 213	73,6	
Ton- und Steinzeugrohre	6	0,03	
Holzrohre	143	0,85	
Bleirohre	879	5,3	
Verschiedenes Rohrmaterial der vorgenannten Arten	661	3,98	
	Sa. 16 604	100,00 %	

Die Hauptrohrleitungen, d. h. Leitungen, die von den Zentralwasserverteilungen abgehen und die Straßen der Länge nach durchziehen, sind entsprechend den Tabellen 5 und 6 in der Mehrzahl, nämlich in 55 % der Ortschaften als Stahlröhren angegeben, während in nur ca. 20 % der Orte Gußrohre als Hauptrohrleitungen aufgeführt sind.

In der Länge der verlegten Hauptrohrleitungen allerdings überwiegt das Gußeisenrohr, welches 43,4 % der Gesamtlänge erreicht, während das Stahlrohr nur mit 33,4 % der Gesamtleitungslänge vertreten ist. Das Gußrohr hat sich für Hauptstränge der Wasserversorgung infolge seiner gegenüber dem Stahlrohr größeren Korrosionswiderstandsfähigkeit sehr bewährt und wird überall da verlegt, wo keine Bodenverschiebungen zu erwarten sind. Es wird also auch als Hauptstrangrohr in der Wasserversorgung immer in der Mehrzahl der Fälle bevorzugt bleiben und nur in aufgeschütteten, leicht wandernden oder durch den Verkehr starker Erschütterung ausgesetzten Böden aus Gründen der Bruchsicherheit durch asphaltierte, schmiedeeiserne Rohre ersetzt werden.

Anders verhält es sich schon bei den Hausanschlußleitungen, d. h. den Leitungen, die quer von den Hauptrohrleitungen zu den Gebäuden und Verbrauchsstellen führen. Nach Tabelle 7 haben ca. 81 % der gezählten Ortschaften Stahlröhren für Hausanschlußleitungen verwendet gegen 9 %, die auch hierfür gußeiserne Rohre verlegt haben. Obgleich die Rohrlängen in diesem Falle nicht durch die Statistik erfaßt werden konnten, ist doch als recht wahrscheinlich anzunehmen, daß in dieser Leitungsgattung auch der Menge und Länge nach das Stahlrohr überwiegt. Zu den Anschlußleitungen kommen nun noch die großen, nicht erfaßten Rohrmengen, die zur Installation in den Gehöften und Häusern usw. selbst gebraucht werden als wesentlicher Bedarfsgegenstand hinzu. Diese Rohre sind erfahrungsgemäß fast ausschließlich schmiedeeiserne oder verzinkte Stahlröhren.

Die geschilderten Verhältnisse Bayerns beim Ausbau der Wasserversorgung und die damit verbundene Bedarfsentwicklung an Rohrmaterial können als Verhältnismaßstab für den Ausbau der übrigen Gebiete Deutschlands angesehen werden, da anzunehmen ist, daß das Bedürfnis nach Wasserversorgung und die Möglichkeit der Erfüllung dieses Bedürfnisses in der Kulturzone des Deutschen Reiches im Durchschnitt überall in gleicher Weise vorhanden war.

Nun bedeutet nicht nur der Neubau von Wasserversorgnungsstätten für die Röhrenindustrie eine entsprechende Bedarfsentwicklung. Die bekannte Tatsache, daß überall da, wo die Wasserversorgung entstand, diese bald eine Lebensnotwendigkeit für das zivilisatorische Niveau der Bevölkerung wurde, sodaß mit wachsender Bevölkerung bei mindestens gleichbleibendem, in der Regel aber steigendem Bedarf pro

Kopf der Bevölkerung in gleichem Maße die bestehenden Anlagen erweitert werden müssen, verbürgt, neben der Notwendigkeit der Erneuerung zerstörter Leitungen, einen fortlaufenden Bedarf an Leitungsmaterial.

Die Bedarfsentwicklung in diesem Sinne zeigt die Tabelle 8 an der Veränderung der Wasserrohrnetze verschiedener Städte und Tabelle 8 a an der Veränderung der Wasserversorgung des Grenzkreises Aachen-Land.

Tabelle 8 [2]):

Wasserrohrnetz verschiedener Städte in km in verschiedenen Jahren.

Stadt	1893	1908	1927	1928	1929	Zunahme in % von 1928	1927	1893
Berlin	823,5	1170,9	3144	3475	3566	2,6	13,5	333
Dresden	198,5	498,5	847,3	872	892	2,6	5,3	350
Düsseldorf	148,5	339,5	630,8	646	757	17,3	20,0	409
Hamburg	469,3	666,2	1053,1	1075	1111	3,35	5,5	137
Leipzig	325	486,4	673,1	691	716	3,6	6,4	120

Tabelle 8 a [3]):

Wasserversorgung des Grenzkreises Aachen-Land.

Jahr	Hausanschlüsse	Zunahme in %	Rohrnetzlänge in km	Zunahme in %
1. Betriebsjahr 1913-14	7 586	—	260 706	—
16. Betriebsjahr 1928-29	18 439	143	508 114	95

2. Die Gasversorgung.

Die technische Entwicklung der Gasbeleuchtung und die allgemeine Einführung der Gasversorgung erschloß der Röhrenfabrikation ein zweites großes Absatzgebiet. Die ersten praktischen Gasherstellungsversuche wurden in England und in Deutschland gegen Ende des 18. Jahrhunderts an verschiedenen Stellen und von verschiedenen Pionieren der Forschung zur Deckung des eigenen Bedarfs unternommen. Die erste kommerzielle Ausnutzung der Gaserzeugung für Beleuchtungszwecke versuchte bereits die im Jahre 1805 in London von einem Deutschböhmen gegründete erste Gas-Aktiengesellschaft, die zwar aus organisatorischen und finanziellen Gründen bald wieder zerfiel, aber schon im Jahre 1810 von der „London and Westminster Charterge Gaslight and Coke Company" mit Erfolg ersetzt wurde. In England setzte sich daraufhin die Gasbeleuchtung der Städte rasch durch bis 1823 erhielten bereits 52 englische Städte Gasbeleuchtung).

In Deutschland kam man trotz zahlreich angesetzter Versuche bis zu dieser Zeit nicht zu einer ökonomischen Anwendung. Erst die englische Gesellschaft „Imperial Continental Association" errichtete in Deutschland das erste Gaswerk und zwar 1825 in der Stadt Hannover und 1826 in Berlin. Nach Hannover und Berlin hielt die Gasbeleuchtung ihren Einzug in den Städten Leipzig 1838, Aachen und Elberfeld 1839, Köln 1840, Barmen und Stuttgart 1845, Hamburg 1846, Breslau, Nürnberg, Wiesbaden 1847, Augsburg, Stettin 1848, Kassel und München 1850.

Mit der allgemeinen industriellen Entwicklung, dem Ausbau der Verkehrswege, die zur Versorgung der Städte mit den zur Gaserzeugung erforderlichen Kohlen notwendig waren, entstanden nun in aufsteigender Linie in den deutschen Städten neben den englischen Gesellschaften auch deutsche Gasanstalten, die allmählich im Laufe

---

[2]) Zusammengestellt aus den statistischen Jahrbüchern Deutscher Städte, Jahrgang 5, 18, 24, 25, 26.

[3]) Kölnische Zeitung, Festschrift zum 125 jähr. Jubiläum.

des vergangenen Jahrhunderts die ausländischen Gesellschaften in Deutschland überflügelten und verdrängten.

Die Entwicklung der Gasanstalten und des Gasverbrauchs ist aus den nachfolgenden Tabellen [4]) zu verfolgen.

Tabelle 9:

Anzahl der Gaswerke ohne Zechen.

Jahr	Gesamtzahl	Zugang abs.
1850	35	—
1859	211	176
1862	266	55
1877	481	215
1883	610	129
1885	668	58
1896	724	56
1900	871	147
1902	978	107
1906	1344	366
1911	1439	95
1912	1507	68
1914	1519	12
1921	1342	— 177
1922	1312	— 30
1923	1226	— 86
1924	1205	— 21
1925	1202	— 3
1926	1198	— 4
1927	1198	0

Tabelle 10:

Steigerung der Zahl der Gaswerke, umgerechnet nach Tabelle 10 auf je fünf Jahre.

Jahr	Zahl der Gaswerke in % des Best. v. 1860	Zugang neuer Werke in %
1860	100	—
1865	135,6	35,6
1870	168	23,3
1875	200	19,0
1880	240	20
1885	294	22,5
1890	305	3,7
1895	316	3,6
1900	383	21,3
1905	548	43
1910	626	14,1
1915	657	5,0
1920	602	— 8,3
1925	533	— 11,4

[4]) Hertz: Die Konzentrationsbewegung in der Gasindustrie Deutschlands.

Tabelle 11:

Jahresleistung der deutschen Gasanstalten in 1000 cbm.

Jahr	Gasanstaltsgas (ohne Zechen)	Zunahme der Erzeugung absolut
1850	—	—
1859	45 000	—
1862	69 000	24 000
1877	325 000	256 000
1883	434 000	109 000
1885	478 000	44 000
1896	733 000	255 000
1900	1 184 898	451 898
1902	1 410 205	225 307
1906	1 618 072	207 867
1911	2 346 193	728 121
1912	2 283 569	37 376
1914	2 520 086	136 517
1921	2 779 700	259 614
1922	2 695 469	— 84 231
1923	2 693 469	— 2 054
1924	2 692 051	— 1 364
1925	2 886 835	194 784
1926	2 992 520	105 685
1927	3 147 899	155 379
1928	ca. 3 300 000	ca. 152 000
1929	ca. 3 500 000	ca. 200 000
1930	ca. 3 375 000	—125 000

(1928—1930 nach dem Konjunkt.-Stat.-Handbuch 1933 ergänzt.)

Tabelle 12:

Steigerung der Jahres-Leistung der deutschen Gaswerke, umgerechnet nach Tabelle 11 auf je fünf Jahre.

Jahr	Gaserzeugung in % der Erzeugung von 1860	Zugang in %
1860	100	—
1865	218	118
1870	370	69,5
1875	536	45
1880	695	29,7
1885	885	27,3
1890	1 095	23,7
1895	1 330	21,6
1900	2 195	64,5
1905	2 890	31,6
1910	4 050	40,3
1915	4 800	18,5
1920	5 050	5,2
1925	5 350	5,9
1930	6 250	16,9

Die Zahl der in Betrieb genommenen Gaswerke steigt nach Tabelle 9 und 10 nach 1860 ziemlich stetig bis zum Jahre 1885. Von 1885 bis zur Jahreswende gehen die Neuanlagen merklich zurück. Der

Rückgang wird aber von 1900 an durch ein forciertes Bautempo mehr als wett gemacht. Die Neugründungen nehmen von da an bis nach 1910 wieder erheblich zu. Betrachtet man hierzu die Gaserzeugung, die in den Tabellen 11 und 12 aufgetragen und errechnet ist, so findet man die Entwicklung im Bau der Gaswerke durch die Gaserzeugung selbst bestätigt. Die Gaserzeugung nimmt bis zum Jahre 1895 stetig zu; der prozentuale Rückgang in der Neubautätigkeit zwischen 1885 und 1895 ist anscheinend durch erhöhte Erzeugungstätigkeit der Werke ausgeglichen. Von der Jahrhundertwende an erhöht sich die Gaserzeugung plötzlich und zwar in einer vorher nie vorhanden gewesenen prozentualen Steigerung.

Die Fortleitung des Gases an die Verbrauchsstellen spielt für die Gasindustrie eine äußerst wichtige Rolle. Sie geschieht in Rohren, die meist in geschlossenen Kreislaufsystemen angeordnet sind. Als Rohrmaterial kamen für die Hauptleitungen jahrzehntelang nur Gußeisenrohre in Frage, die wegen ihrer aus Herstellungsgründen notwendigen großen Wandstärken und kurzen Baulängen den Nachteil großen Gewichtes und vieler Rohrverbindungen besitzen. Die große Zahl der Rohrverbindungen birgt neben der Möglichkeit von Gasverlusten, besonders in Städten mit Kanalisation usw., immer gewisse Explosionsgefahren in sich, zu denen noch die bei Gußrohren vorhandene geringe Bruchsicherheit hinzukommt und die u. a. Gefahren für das Leben und die Gesundheit der Anwohner bedeuten können. Gegen die Verwendung von Gußeisenrohren für Gasleitungen und besonders für Fernleitungen, die noch einem höheren Drucke ausgesetzt sind, wurden aus den obigen Gründen immer wieder Bedenken geäußert. Sie gaben der röhrenherstellenden Industrie Anreiz genug, Verfahren zu entwickeln, die gestatteten, aus zähem Material (Schweiß- oder Flußeisen) Rohre von größeren Baulängen und höherer Bruchsicherheit herzustellen. Die vielerlei Versuche und Mühen in dieser Richtung zeitigten dann sowohl für Rohre größeren Durchmessers durch die Einführung der Ueberlappungsschweißung in der Mitte des vorigen Jahrhunderts als auch für Rohre unter 500 mm Durchmesser in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts durch die Erfindungen der nahtlosen Rohrherstellung durch die Gebrüder Mannesmann und Ehrhardt vollen Erfolg.

Für die von den Hauptrohren abzweigenden Anschluß- oder Zuleitungen und die in den Grundstücken abzweigenden Innenleitungen standen seit der Einführung der Gasbeleuchtung in Deutschland bereits den Anforderungen entsprechende schmiedeeiserne, stumpfgeschweißte Röhren zur Verfügung. Die Entwicklung des Herstellungsverfahrens für diese Rohrart, die 1812 in England einsetzte, ist zweifellos durch die ebenfalls in England kurz vorher entwickelte Gasherstellung zu Beleuchtungszwecken wesentlich angeregt worden. Das Uebergreifen der Gasbeleuchtung auf den Kontinent hat auch hier infolge des dadurch hervorgerufenen Rohrbedarfs, das Entstehen und rasche Aufblühen der Schweißrohrindustrie in Deutschland mitbewirkt.

Die Veränderung der für die Gasversorgung der Bevölkerung dienenden Rohrnetze für verschiedene Städte Deutschlands von 1893 ab ist aus der Tabelle 13 [5]) zu ersehen.

---

[5]) Zusammengestellt aus den statistischen Jahrbüchern deutscher Städte, 5., 10., 22., 24., 25., 26. Jahrgang.

Tabelle 13:

Länge der Ortsrohrnetze (Niederdruck- und Hochdruckleitungen) in km für die Gasversorgung einzelner Städte in verschiedenen Jahren.

Stadt	1893	1899	1924	1927	1928	1929	Zunahme in % v.27-28 a.28-29	v.28-29 a.29-30	v. 1893
Bonn	—	—	124	129,2	129,9	131,1	0,5	0,9	—
Braunschwg.	75	85	113	136,4	144,5	153,4	5,9	6,2	104
Breslau	355	239	473,9	618,2	664,8	664,9	7,5	—	87
Duisburg	56	97	328,9	353,6	359,4	365,7	1,6	1,75	550
Düsseldorf	145	189	542,9	610	621,3	697,3	1,9	12,2	380
Freiburg i.B.	54	67	143	145,4	148,5	158,5	2,1	6,7	193
Hamburg	426	500	1121	1445,7	1494,7	1841,4	3,4	23	330
Halle (S.)	101	120	214	230,7	239	243,7	3,6	2	141
Karlsruhe	65	89	178,6	184	184	191,9	—	4,3	195
Krefeld	81	102	197,2	214,7	222,4	226,9	3,6	2	180
Leipzig	240	328	902,6	959,8	967,7	988,1	0,8	2,1	310
Magdeburg	136	183	299,6	314,2	318,6	324,8	1,4	1,95	139
Mainz	68	72	136,3	133,9	136,9	140,9	2,2	2,9	107
München	—	333	589,9	668,5	692	719,8	3,5	4	—
						Im Durchschnitt	2,7	5,0	—

Der wachsenden Bevölkerung einerseits und der zunehmenden Verwendung des Gases zu Heiz-, Koch- und industriellen Zwecken andererseits entspricht, wie die Aufstellung zeigt, ein sich ständig vergrößerndes Rohrnetz in den Städten, das noch in den zuletzt erfaßten Jahren eine prozentuale Steigerung von durchschnittlich 2,7—5 %, in Einzelfällen bis zu 23 % der Vorjahrslänge erreicht.

3. Bedarfsentwicklung im Dampfkesselwesen.

Ein weiteres, großes Absatzgebiet für Röhren hat sich im 19. Jahrhundert durch die Erfindung der Dampfmaschine, die die Produktionsverhältnisse grundlegend umgestaltete, entwickelt. Dienten ursprünglich die Rohre hauptsächlich dem Zwecke der Verbindung zwischen Dampferzeuger und arbeitsverrichtendem Maschinenzylinder, so wurde bald das Rohr nicht nur zur Fortleitung des Dampfes, sondern im steigenden Maße zur Dampferzeugung selbst als wesentlicher Bestandteil der Dampfkessel benutzt. Ueber die ursprünglichen Kesselbauarten, in denen der Dampf in stehenden zylindrischen Eisengefäßen mit kugelförmigen Hauben erzeugt wurde, ist die technische Entwicklung, im Bestreben, bei der Energieumwandlung die hierdurch entstehenden unvermeidlichen Energieverluste möglichst zu beschränken, zur Erzielung größerer Heizoberflächen zum Einbau von direkt beheizten Rohren, die im Kessel selbst eingebaut oder mit dem Kesselinhalt verbunden waren, über Walzenkessel, Flammrohrkessel, Heizrohr- und Wasserrohrkessel zu immer zweckmäßigeren Konstruktionen zur möglichst optimalen Ausnutzung der Brennstoffe übergegangen. So bestehen die neuzeitlichen Kessel zum allergrößten Teil nur noch aus Rohren. Diese Entwicklung, auf die im folgenden Abschnitt näher eingegangen wird, und die Zunahme des Bedarfs an Dampf als Energieträger für fast alle neuentstandenen Industrie- und Gewerbezweige haben den Bedarf für Rohre seit Anfang des vorigen Jahrhunderts andauernd wachsen lassen.

Eine gewisse Uebersicht über die Entwicklung im Dampfkesselwesen und dem mit ihm eng zusammenhängenden Gebiet der Lokomotiverzeugung geben die nachstehenden Tabellen.

Tabelle 14:

Zahl der Dampfkessel in Preußen [6]).

Jahr	Zahl der Kessel	Zunahme absolut	Zunahme in %	Zahl der Kessel in % von 1879
1879	38 649	—	—	100
1884	48 966	10 317	26,7	126,7
1885	51 823	—	—	134
1890	63 406	11 683	22,6	164
1895	75 551	12 145	19,1	195
1900	91 516	15 965	21,2	236
1905	102 239	10 723	11,7	265
1910	113 440	11 201	11,0	293
1913	116 756			302
	im deutschen Reichsgebiet:			
1879	49 511	—	—	100
1930	128 720	79 209	160	260

Tabelle 15:

Zahl der vom Internationalen Verband der Dampfkesselüberwachungsvereine überwachten Dampfkessel [7]).

Jahr	Zahl der Vereine	Zahl der Kessel	Zahl d. Kessel / Z. d. Vereine	Zunahme der Kessel absolut	Zunahme der Kessel in %	Zahl der Kessel in % von 1875
1873	6	4 900	820	—	—	100
1875	11	8 550	777	3 650	74,5	174,5
1880	27	19 500	720	10 950	128	399
1885	30	29 600	990	10 100	52	605
1890	32	43 500	1 360	13 900	47	890
1895	35	62 000	1 770	18 500	42,5	1260
1900	39	125 000	3 200	63 000	101	2550
1905	50	178 000	3 550	53 000	42,5	3630
1910	56	222 000	3 960	44 000	24,7	4530
1913	72	265 000	3 690	43 000	19,4	5400

Tabelle 16:

Durchschnittliche Heizfläche je Kessel in qm.

(Nach der Statistik des D. R. vom 1. 1. 1930.)

Baujahr	Durchschnittliche Heizfläche in qm	Vergrößerung in % der vor 1880 gebauten
vor 1880	50	100
1880—1899	65	130
1900—1909	78	155
1910—1913	107	215
1914—1919	153	306
1920—1924	160	320
1925	118	236
1926	149	298
1927	105	210
1928	125	250
1929	95	190

[6]) Z. d. Bayr. Rev. Vereins u. Statistik d. D. R. 1879 u. 1930.

[7]) Hillinger: Die geschichtliche Entwicklung der Dampfkesselaufsicht in Preußen. Beitrag zur Geschichte der Technik u. Industrie, 7. Bd. Berlin 1917.

Tabelle 17:

Produktion an Lokomotiven in Deutschland.

(Nach Röll: Enzyklopädie des Eisenbahnwesens Bd. VII.)

	Jahr der Fertigstellung der Lokomotiven Fabriknummer				Geliefert bis Ende 1911 etwa
	1	1000	2000	5000	
1. Henschel & Sohn, Cassel	1848	1879	1885	1899	11 000
2. A. Borsig, Berlin	1841	1858	1867	1902	8 000
3. Krauß & Co., München	1867	1882	1888	1905	6 600
4. Hannoversche Maschinenbau A.-G., vormals G. Egestorff, Hannover-Linden	1846	1873	1888	1907	6 400
5. Elsäßische Maschinenbau-Gesellschaft Grafenstaden, einschließlich Société Alsacienne, Belfort	1839	1866	1872	1900	6 200
6. Berliner Maschinenbau A.-G., vormals L. Schwartzkopf, Berlin	1867	1879	1892	1912	4 900
7. I. A. Maffei, München	1841	1874	1899	—	3 400
8. Sächsische Maschinenfabrik, vormals R. Hartmann, Chemnitz	1848	1878	1892	—	3 600
9. Stettiner Maschinenbau A.-G., Vulkan, Stettin	1859	1887	1903	—	2 800
10. Orenstein & Koppel, Berlin	1876	1902	1906	1912	4 000
11. Hohenzollern A.-G., Düsseldorf	1875	1897	1906	—	2 900
12. Maschinenbau-Gesellschaft Karlsruhe	1854	1880	1912	—	1 900
13. Maschinenfabrik Esslingen	1847	1870	1883	—	3 900
14. F. Schichau, Elbing	1860	—	1912	—	1 950
15. Union Gießerei Königsberg (Preußen)	1856	1887	1912	—	1 950
16. Sonstige Firmen	—	—	—	—	5 500
					Sa. 75 000

Tabelle 18:

Produktion an Lokomotiven nach Tabelle 17 interpoliert.

Jahr	Zahl der gebauten Lokomotiven absolut	in % der bis 1850 geb. Anzahl
bis 1850	1 575	100
von 1850—1859	2 725	173
von 1860—1869	5 750	365
von 1870—1879	8 300	528
von 1880—1889	11 250	715
von 1890—1899	14 900	945
von 1900—1911	30 500	1 940

Tabelle 19:

Bestand an Lokomotiven der deutschen Eisenbahnen.

(Von 1889—1905 nur für die preußische Staatsbahn.)

Jahr	Zahl der Lokomotiven	in % von 1889
1889	9 118	100
1890	9 668	106
1895	10 929	120
1900	12 871	141
1905	15 368	168
1910	25 318	
1915	29 446	
1920	30 784	
1925	29 205.	

Nach Röll sind in der Tabelle 17 nur die Fabriken enthalten, die bis 1911 mindestens rund 2000 Lokomotiven (größte und kleinste) geliefert haben. Die Fabriknummern sollen nicht nur immer Lokomotiven betreffen, sondern bei manchen Fabriken auch andere Fabrikate, wie Dampfkessel usw. einschließen. Da diese Fabrikate mehr oder weniger Rohrbedarf haben, ist die Ungenauigkeit der Aufstellung für die vorliegende Untersuchung ohne Nachteil.

Tabelle 14 zeigt, wie sich die Zahl der in Preußen aufgestellten Dampfkessel ständig vergrößert hat. Tabelle 15 gibt einen Ueberblick über die Zunahme der von dem „Internationalen Verband der Dampfkesselüberwachungsvereine", der außer Deutschland noch Rußland, Frankreich, Italien, Oesterreich-Ungarn, Schweden, Belgien und die Schweiz umfaßte, überwachten Dampfkessel. Berücksichtigt man noch, daß sich entsprechend der technischen Entwicklung im Dampfkesselbau die Größe der Kessel nach Tabelle 16 dauernd vergrößert hat, sodaß jede später gebaute Einheit einen wiederum größeren Rohrbedarf darstellt, so überhöht diese Tatsache zweifellos den bereits der Zahl der Einheiten nach gestiegenen Bedarf beträchtlich.

Die Produktionssteigerung an Lokomotiven konnte über einen größeren Zeitraum verfolgt werden. Der Bestand, der von den deutschen Eisenbahnen gehaltenen Lokomotiven hat dauernd eine Steigerung erfahren, die Produktion der in Tabelle 17 aufgeführten Firmen allein ist aber schon wesentlich höher als die Bedarfssteigerung der deutschen Eisenbahn. Hieraus darf geschlossen werden, daß die starke Produktionssteigerung auf einen sich ständig erhöhenden Absatz der Lokomotivindustrie an die Privatindustrie und an das Ausland zurückzuführen ist.

Die seit Mitte des vorigen Jahrhunderts nachgewiesene ständige Zunahme der Produktion an Dampfkesseln und Lokomotiven hat die bereits durch den Aufschwung anderer Industrien eingeleitete Nachfrage nach Stahlröhren wesentlich unterstützt und sicherlich zu einem großen Teil zur Ausbildung neuer Verfahren der Rohrherstellung und zur Neugründung von Rohrwerken bzw. zur Produktionssteigerung in der Röhrenindustrie beigetragen.

4. Bedarfsentwicklung von Rohren als Konstruktionselement.

Das Rohr hat sich wegen der außerordentlichen Vorzüge, die es infolge seines kreisringförmigen Querschnitts als Konstruktionselement besitzt, in den letzten Jahrzehnten zu seinen Entstehungs- und Bedarfsgebieten der Fortleitung von Flüssigkeiten und Gasen andere wesentliche Absatzgebiete als Bauelement hinzugewonnen. Es sei hier besonders auf seine steigende Verwendung im Rahmenbau für Fahrräder, Krafträder und Kraftwagen und im Flugzeugbau hingewiesen. Das Rohr besitzt für dieses Gebiet neben seinen günstigen statischen Eigenschaften noch die Vorteile des leichten Gewichts und des Wegfalls nachträglicher mechanischer Bearbeitung seiner Oberflächen. Aus diesen Gründen wird es außer zum Rahmenbau für Fahrräder und Krafträder auch im Automobilbau für Schub- und Spurstangen der Steuerung, Distanzrohre, Rohrtraversen, Lenksäulen, Schutzhülsen, Kugellagergehäuse, Nabenbüchsen usw. verwendet.

Der Bedarf an kaltgezogenen Präzisionsrohren für den Fahrradrahmenbau hat sich seit der Einführung des Fahrrades und mit der Zunahme seiner Beliebtheit als Verkehrs- und Sportmittel in rasch aufsteigender Linie entwickelt, wie die in Tabelle 20 gegebene Uebersicht über den Bestand an Fahrrädern in Deutschland zeigt. Diese Entwicklung soll nach Ansicht von Fachleuten noch lange nicht abgeschlossen sein. Auf Grund des Bestandes von 12 000 000 Fahrrädern in Deutschland errechnet Hillmer für Deutschland eine jährliche Ersatzbeschaffung von rund 2 000 000 Fahrrädern.

Die Steigerung der Absatzmöglichkeiten an Qualitätsrohren auf dem Gebiete der Kraftfahrzeugproduktion ist aus der erheblichen, oft sprunghaft erfolgten Zunahme des Bestandes an Krafträdern und Kraftfahrzeugen in Deutschland seit dem Kriege und deren Erzeugungszahlen zu ersehen, wie sie in Tabelle 21, 22, 23 zusammengestellt ist.

Tabelle 20:

Bestand an Fahrrädern [8]) in Deutschland.

Jahr	Bestand in Stück	1 Fahrrad auf Personen
1887	17 000	2802
1890	100 000	492,4
1900	1 500 000	37,4
1910	4 000 000	16,1
1914	6 000 000	11,3
1918	5 000 000	13,4
1920	6 000 000	10,3
1925	9 000 000	7,0
1926	9 800 000	6,5
1927	11 000 000	5,8
1928	12 000 000	5,4

Tabelle 21:

Bestand an Krafträdern in Deutschland.

(Nach der Statistik d. D. R. 1931.)

Jahr	Bestand an Krafträdern	Zunahme absolut	Zunahme in %	Bestand in % von 1914
1914	20 611	—	—	100
1921	26 666	6 055	29,4	129,5
1922	38 048	11 382	42,5	185
1923	59 389	21 341	56	287
1924	97 965	38 576	65	475
1925	161 508	63 543	65	785
1926	263 345	101 837	63	1 280
1927	339 226	75 881	28,8	1 650
1928	438 288	99 062	29,3	2 125
1929	608 342	170 054	39	2 950
1930	731 237	122 895	20,2	3 550
1931	792 075	60 838	8,3	3 860

Tabelle 22:

Gesamtbestand an Kraftfahrzeugen in Deutschland.

(Kraftäder, Personen- und Lastwagen.)

Jahr	Kraftfahrzeuge insgesamt	Zunahme absolut	Zunahme in %	Bestand in % von 1914
1914	84 682	—	—	100
1921	118 640	33 958	40	140
1922	165 729	47 089	39,8	196
1923	212 949	47 220	28,5	250
1924	293 032	80 083	38	346
1925	425 790	132 758	45,2	505
1926	571 893	146 103	34,4	680
1927	723 935	152 042	26,6	860
1928	933 312	209 377	28,9	1 100
1929	1 214 059	280 747	30,2	1 430
1930	1 419 870	205 811	17	1 675
1931	1 507 129	87 259	6,2	1 780

[8]) Die Absatzorganisation der deutschen Fahrradindustrie von Walter Hillmer. T. H. München 1931.

Tabelle 23:

Die Erzeugung der deutschen Kraftwagenindustrie.

(Deutsche Wirtschaftskunde; Statist. Reichsamt, Berlin 1930.)

	1913	1925	1927	1928	Zunahme in % von 1913
Zahl der Krafträder	5 100	56 000	84 300	162 200	3 100
Zahl der Personenwagen	17 200	47 800	91 200	108 100	530
Zahl der Lastwagen und Autobusse	2 800	12 600	22 000	17 800	605
		2 400	1 700	2 000	
Zahl der Sonderfahrzeuge	400	7 300	10 300	11 200	2 700

5. Bedarfsentwicklung in der chemischen Industrie.

Zu den mit der Entwicklung der Röhrenindustrie und ihrer Herstellungsverfahren engverbundenen klassischen Absatzgebieten für Rohre ist seit Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts noch als großer Abnehmer die chemische Industrie hinzugekommen. Das Rohr spielte in dieser Industrie schon von jeher eine betriebswichtige Rolle als Konstruktionselement für den chemischen Apparatebau sowie als Leitungselement und Transportvorrichtung für flüssige, dampf- und gasförmige Stoffe.

Für die moderne chemische Produktion, deren Anfänge bis auf die Sodaherstellung nach Leblanc (1791) zurückzuverfolgen sind, die aber erst im zweiten Teil des vorigen Jahrhunderts, nach der notwendigerweise vorhergehenden Entwicklung in der Konzentration der Energie durch die Ausnutzung der Kohle und der Ausbildung der Dampfmaschine, allmählich auf technische Großbetriebe überging, kam bis zu Anfang dieses Jahrhunderts als Rohrbedarf höchstens die gleiche Qualität an geschweißten und später nahtlosen Rohren wie für die bereits beschriebenen Bedarfsgebiete in Frage. Qualitativ stellte bis dahin ohne Zweifel der Dampfkessel infolge der stetigen Druckerhöhungen und der steigenden Ueberhitzertemperaturen die höchsten Ansprüche an die Rohrherstellung. Den Anforderungen der chemischen Industrie, die für gewisse Verwendungszwecke auf dem Gebiete des Korrosionswiderstandes der Rohre gegen Säure- und Laugenangriffe lagen, konnte durch Innenauskleidung der Stahlrohrleitungen mit Schutzüberzügen oder durch Ersetzung der Stahlrohre durch solche aus für bestimmte Zwecke korrosionsfesten Metallen, wie Blei, Kupfer, Messing etc. Genüge getan werden. Den Hauptbestandteil des Verbrauchs bildeten aber nach wie vor die Stahlrohre wegen ihrer infolge ihrer technischen Eigenschaften weitgehenden universellen Brauchbarkeit. Der gewaltige Aufschwung und Ausbau der chemischen Industrie und der ihr verwandten Industrie für Nahrungs- und Genußmittel vergrößerte demzufolge zugleich das Absatzgebiet aller auch für die anderen Zweige der Wirtschaft gebrauchten Rohrqualitäten an geschweißten und nahtlosen Stahlrohren.

Eine Erfassung der quantitativen Bedarfsentwicklung an diesen Rohren für die chemische und Nahrungs- und Genußmittelindustrie ist statistisch nicht möglich. Die Bedarfsentwicklung an Rohren geht aber zweifellos mit dem Wachsen der chemischen Industrie und der Entstehung neuer Produktionsbetriebe parallel.

In der nachstehenden Tabelle sind die chemischen Betriebe, die zahlenmäßig erst seit 1885 von der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie erfaßt worden sind, zusammengestellt:

Tabelle 24 [9]):

Jahr	Zahl der chemischen Betriebe	Zugang in %	Zugang in % von 1886
1886	4 176	—	—
1891	5 237	26	26
1896	6 144	17	47
1901	7 352	20	76
1906	8 505	16	104
1911	8 984	5,8	115
1912	9 147	1,8	119

Mit der Zunahme der Betriebe ging der Ausbau bereits bestehender Unternehmungen parallel, wodurch der Rohrbedarf außerdem erhöht wurde. Als Beispiel der Vergrößerung eines chemischen Unternehmens sind in der nachstehenden Tabelle für die „Badische Anilin- und Sodafabrik in Ludwigshafen" die Zahlen der in den verschiedenen Jahren beschäftigten Arbeiter und die überbaute Fläche zusammengestellt:

Tabelle 25 [10]):

Jahr	Arbeiterzahl	Zugang in %	Ueberbaute Fläche in Ar	Zugang in %
1865	30	—	219	—
1870	520	1 740	363	66
1875	835	60,5	679	86
1880	1 534	84	991	46
1885	2 330	52	1 336	35
1890	3 596	54	1 734	30
1895	4 743	32	2 415	40
1900	6 711	42	3 372	40
1905	7 007	4,4	3 764	11,5
1910	7 610	8,6	4 239	12
1915	7 655	0,6	5 679	34

Beide Tabellen lassen das Wachstum der chemischen Industrie bis zu Beginn des zweiten Jahrzehnts unseres Jahrhunderts erkennen und einen gewissen Rückschluß auf die bis dahin durch sie hervorgerufene Bedarfssteigerung an normalen Stahlrohren zu.

Eine gewisse Umwälzung des Rohrbedarfs in der chemischen Industrie brachte die Entwicklung der Kontakt-Verfahren, die, mit der Indigosynthese beginnend, in der Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren, durch die es gelang, den Stickstoff der Luft unter Anwendung von Katalysatoren mit Wasserstoff zu Ammoniak zu vereinigen, einen technischen Auftrieb vom Jahre 1910 ab erreichte. Die Durchführung der Ammoniaksynthese und der später entwickelten Methanolsynthese und der ähnlichen Verfahren zur Verflüssigung der Kohle erforderten Behälter und Röhren, die bisher nicht gekannten hohen, inneren Drücken bei gleichzeitig höheren Temperaturen standhalten mußten. Der Bau gewaltiger Stickstoffwerke nach dem Haber-Bosch-Verfahren und nach anderen später entwickelten Verfahren stellte die Röhrenindustrie vor neue Aufgaben zur Befriedigung des Bedarfs an dickwandigen Hochdruckrohren, an die aus Sicherheitsgründen und Gründen der Korrosionsbeständigkeit noch hohe Anforderungen an die Zusammensetzung und Reinheit des Materials gestellt werden mußten.

Die Entwicklung des quantitativen Bedarfs an dickwandigen Hochdruckrohren selbst ist leider ebenfalls statistisch nicht erfaß-

[9]) Wiedenfeld: Die deutsche Wirtschaft und ihre Führer. Gotha 1925.

[10]) Wiedenfeld: Die deutsche Wirtschaft und ihre Führer. Gotha 1925.

bar. Einen gewissen Rückschluß läßt die nachstehende Aufstellung der Erzeugung an Stickstoff, der in Deutschland zum überwiegendsten Teil in Hochdruckanlagen nach dem Haber-Bosch-Verfahren hergestellt wird, zu:

Tabelle 26 [11]):

Die Erzeugung an synthetischem Stickstoff in 1000 to Reinstickstoff:

Jahr	Deutschland	Norwegen	England	USA	Frankreich	Italien
1913	12	15	—	—	3	3
1925	446	27	13	11	14	13
1927	576	35	20	17	24	26
1929	677	61	110	77	64	50

6. Produktion an Stahlröhren:

Die auf den verschiedenen Gebrauchsgebieten nachgewiesene steigende Bedarfsentwicklung an Stahlröhren muß in der Produktion selbst ebenfalls zum Ausdruck kommen. Nachstehend ist nach der amtlichen Statistik des Deutschen Reiches und von 1913 ab nach der Statistik des Vereins deutscher Eisen- und Stahlindustrieller die Produktion der Gesamt-Walzwerksfertigerzeugnisse und der Stahlröhren zusammengestellt:

Tabelle 27:

Jahresproduktion der Gesamt-Walzwerksfertigerzeugnisse und Stahlröhren aus Schweißeisen, Schweißstahl, Flußeisen und Flußstahl:

Jahr	Walzwerksfertigerzeugnisse in 1000 t	Röhrenerzeugung in 1000 t	Röhrenerzeugung in % der Gesamt-Walzwerkserzeugung
1875	1 436	3	
1880	1 856	5	
1885	2 307	12	
1890	3 101	24	
1895	3 823	45	
1900	5 772	78	
1905	7 696	128	
1908	8 625	383	Aenderung der Statistik
1910	10 157	459	4,5
1911	11 177	464	4,17
1912	13 058	650	4,96
1913	13 899	750	5,4
1914	11 136	611	5,5
1915	9 604	461	4,8
1916	10 995	499	4,55
1917	11 346	413	3,65
1918	10 127	413	4,08
1919	5 821	260	4,45
1920	6 935	382	5,48
1921	7 520	392	5,2
1922	8 878	515	5,8
1923	4 772	209	4,3
1924	7 345	476	6,49
1925	9 295	637	6,86
1926	9 024	661	7,3
1927	11 837	787	6,62
1928	10 794	828	7,65
1929	11 589	906	7,81
1930	8 382	634	7,6
1931	6 030	404	6,7
1932	4 407	272	6,16

[11]) Die deutsche Chemische Industrie, Berlin 1930.

Zur Bewertung der Produktion ist zu bemerken, daß sich vor 1908 die amtliche Zählung auf solche Röhrenwalzwerke beschränkte, die mit Fluß-, Stahl- und Schweißeisenwerken verbunden waren. In der Erhebung ist demnach die Produktion der reinen Walzwerke, die von anderen Werken bezogenes Halbzeug verarbeiteten, nicht enthalten. Die Produktionszahlen vor 1908 sind demnach höher gewesen, als die Statistik ergibt.

Bis zum Ausbruch des Weltkrieges ist die Produktion der Werke fortlaufend gestiegen. Während der Kriegsjahre 1915 bis 1918 blieb sie ziemlich gleich, um nach dem Kriege bis zum Jahre 1929, mit Ausnahme des Jahres der Ruhrbesetzung, im verschärften Tempo weiter zu steigen. Von 1930 an macht sich die Weltwirtschaftskrise auch im Röhrenproduktionsrückgang deutlich fühlbar.

Besonders eindrucksvoll führt die prozentuale Berechnung der Röhrenerzeugung zur Gesamt-Walzwerksfertigerzeugung die steigende Entwicklung der Röhrenproduktion und deren fortlaufend zunehmende Beteiligungsquote an der GesamtWalzwerkserzeugung vor Augen.

b) In qualitativer Hinsicht:

Das vergangene Jahrhundert mit seiner auf allen Gebieten einsetzenden stürmischen technischen und wissenschaftlichen Entfaltung ist auch der Beginn einer qualitativen Bedarfsentwicklung geworden. Fortschreitende Erfahrungen, verbunden mit wissenschaftlichen Erkenntnissen haben an die Qualität der menschlichen Erzeugnisse in wechselseitiger Befruchtung ununterbrochen und in fortlaufend rascherem Tempo bis in die Jetztzeit hinein immer höhere Ansprüche gestellt. Die Lethargie des Mittelalters auf technisch-wissenschaftlichem Gebiete, die sich bis weit in das achtzehnte Jahrhundert hineinerstreckte, wurde erst überwunden, nachdem die Menschheit durch beträchtliche geistige Vorarbeit gelernt hatte, fremde Energiequellen aufzuspüren und sich nutzbar zu machen. Erst die Möglichkeit der Umwandlung aufgefundener oder freigemachter Energien in Formen, die durch Arbeitsleistung zur Erzeugung wirtschaftlicher Güter geeignet sind, hat die Entwicklung der technisch-wirtschaftlichen Kultur in qualitativer Hinsicht eingeleitet und befruchtet . Marksteine auf diesem Wege sind unter anderen die Ausnutzung der Wasserkräfte durch Turbinen oder der in Brennstoffen aufgespeicherten chemischen Energien bei der Verbrennung zur Dampferzeugung und dessen Verwertung in Dampfmaschinen zu mechanischer Arbeit in unbeschränkter Menge oder die Umwandlung der Brennstoffe durch Destillation in Gase zu Beleuchtungs-, Heiz- und Kraftzwecken.

Die Entwicklung in der Wasserversorgung hat, wie bereits erläutert, vornehmlich eine quantitative Bedarfssteigerung an Leitungsröhren hervorgerufen. Die vor der Einführung zentraler Wasserwerke in Deutschland bereits im Handel befindlichen Gußrohre und stumpfgeschweißten, schmiedeeisernen Rohre genügten qualitativ für diese Zwecke vollkommen. Nachdem aber auch überlapptgeschweißte und schließlich sogar nahtlose Rohre auf den Markt kamen, haben diese in vielen Fällen aus ihrer durch ihre mechanischen Eigenschaften bedingten qualitativen Ueberlegenheit dem Gußrohr starke Konkurrenz machen können und zwar besonders aus nachstehenden Gründen:

1. Durch die große Baulänge der nahtlosen Rohre reduziert sich die Zahl der Verbindungsstellen und der Dichtungen um die Hälfte bis zu Zweidrittel gegenüber den gußeisernen Rohren.

2. Das Gewicht der Stahlrohre ist infolge ihrer dünneren Wandstärken wesentlich niedriger; daher entstehen beim Leitungsbau geringere Transport- und Montagekosten.

3. Die gute Elastizität und Festigkeit des Materials der Stahlrohre macht die aus ihnen zusammengefügten Leitungen auch bei Erdbewegungen bruchsicher; außerdem besteht auch beim Trans-

port und bei unsachgemäßer Be- und Entladung im Gegensatz zu den Gußrohren keine Bruchgefahr.

4. Die nahtlosen schmiedeeisernen Rohre können direkt auf der Baustelle durch Kaltbiegen usw. ohne Schwierigkeiten und ohne große Kosten Abzweigungen und Biegungen angepaßt werden.

In der Gasversorgung wurden in den ersten Jahrzehnten der Entwicklung, während für jede Ortschaft eine eigene Gasanstalt errichtet wurde, sodaß die Verteilung sich nur über kurze Entfernungen durch örtliche Ringleitungen (Zirkulationssystem) oder durch einen Hauptspeisestrang mit Nebenleitungen (Verästelungssystem) erstreckte, nur gußeiserne Rohrleitungen verwendet. Da sich diese gegenüber der Korrosionsgefahr durch feuchte, salzhaltige Böden bewährten und außerdem der Gasdruck sehr gering war, bestanden zunächst gegen ihre Verwendung aus Festigkeitsgründen keine Bedenken. Als Nachteil wurde dagegen von jeher das hohe Gewicht dieser Rohre und die durch ihre kurze Baulänge bedingten zahlreichen Rohrverbindungen, wodurch besonders lange Leitungen in der Verlegung teuer wurden, empfunden. Hierzu kam, daß sie bei stärker werdendem Straßenverkehr oder schon bei geringer Erdbewegung infolge der Sprödigkeit des Gußmaterials leicht zerstört wurden, was, besonders in dichtbesiedelten Städten große Gefahren für Leben und Gesundheit der Anwohner bedeutete. Man suchte deshalb auch für die Hauptleitungen nach Rohrqualitäten, wie sie bereits in den stumpfgeschweißten Eisenrohren, den sogenannten „Gasrohren", für die kleinen Durchmesser für die Einzel- und Hausanschlüsse zur Verfügung standen. Diesen Anforderungen genügten die in Deutschland seit 1850 hergestellten überlappt geschweißten Rohre. Besonderen Anreiz zum Uebergang auf Stahlröhren als Gashauptrohre bot schließlich die Möglichkeit der Herstellung nahtloser Rohre und zwar vornehmlich zunächst wegen der größeren Baulängen und der hierdurch bedingten größeren Betriebssicherheit. Die gewisse Unterlegenheit der Stahlrohre gegenüber den Gußrohren bezüglich der Korrosionsfestigkeit im Erdboden wurde allmählich durch Asphaltieren der Rohre unter gleichzeitiger Bewicklung mit Jute oder durch Anstrich mit Bitumen und Wollfilzumwicklung nahezu beseitigt.

Durch die seit Anfang dieses Jahrhunderts auch in Deutschland begonnenen Projekte der Ferngasversorgung, die im letzten Jahrzehnt neben der Ferngasversorgung durch die Städte, besonders von den Großkokereien der rheinisch-westfälischen Bergbaureviere über weite Strecken ausgedehnt wurde, sind die Anforderungen an die Rohrleitungen wegen des durch die großen Entfernungen erforderlichen hohen Betriebsdruckes (z. T. 30 at) wesentlich gesteigert worden. Diese hohen Innendrücke schieden von vornherein Gußeisenrohre für Ferngasleitungen aus. Für sie wurden von Anfang an ausschließlich Stahlrohre und zwar bis zu 600 mm im Durchmesser nahtlose und für größere Durchmesser überlappt wassergasgeschweißte Stahlrohre verwendet. Neben den höheren Betriebsdrücken verlangte auch die Frage der Rohrverbindungen den Uebergang zu Stahlrohren, weil diese durch autogene oder elektrische Schweißung gas- und druckdicht miteinander verbunden werden können, während bei der Verbindung durch Muffen mit Hanfstricken und Blei, wie es bei den Gußrohren erforderlich und auch nur allein möglich ist, nicht für dauernde Dichtheit gerantiert werden konnte.

Die Entwicklung auf dem Gebiete der Energiewirtschaft und besonders der Dampfwirtschaft hat qualitativ auf die Entwicklung von Herstellungsverfahren für Rohre und auf die Steigerung des Bedarfs einen wesentlichen Einfluß ausgeübt. Die durch die Thermodynamik gefundene Erkenntnis, daß ein umso größerer Bruchteil des Wärmeaufwands in mechanische Arbeit umgesetzt wird, je höhere Dampfspannungen angewendet werden, ist für die Entwick-

lung der Dampfmaschine und damit der Dampferzeugung seit James Watt richtunggebend geworden.

Der Vorteil der höheren Dampfspannungen in Bezug auf den Dampfverbrauch in kg/PSi/St für Kolbendampfmaschinen ist beispielsweise bei 0,7 at Expansionsenddruck und 0,1 at Vakuum nachfolgend zu entnehmen [12]):

Druck in ata	3	4	5	6	8	10	13	16	20
Theoretisch errechneter Sattdampfverbrauch kg/PSi h	6,9	6,3	5,8	5,4	5,02	4,7	4,38	4,16	3,96

Die allmähliche Anpassung an die vorstehend aufgeführte Erkenntnis durch Uebergang zu höheren Dampfdrücken im Dampfkesselbau zeigt eine Statistik der Ueberdrücke der Dampfkessel in Preußen im Vergleich der Jahre 1879 und 1889 und die graphische Darstellung der mittleren Drucke der in den einzelnen Jahren von 1850 bis 1910 von der Firma Gebr. Sulzer gebauten Dampfkessel [13]).

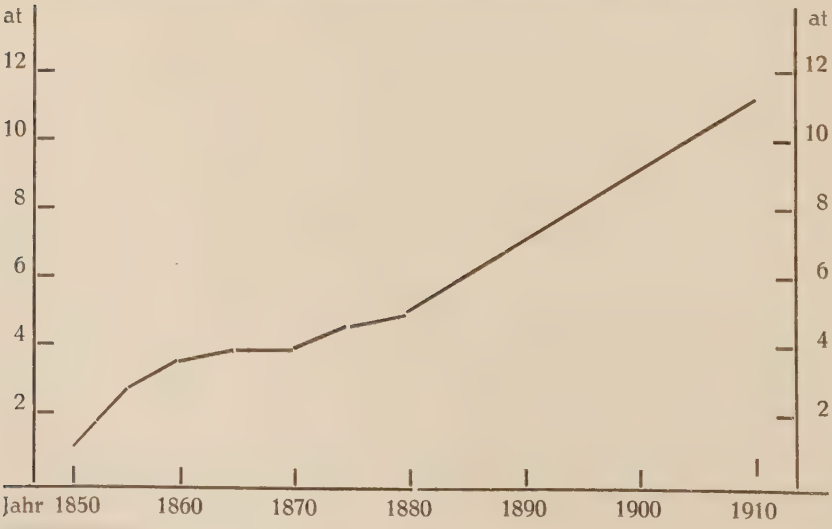
Tabelle 28:

Ueberdrucke der Dampfkessel in Preußen.

Jahr	1879	1889	Bestand 1889 in % von 1879
Zahl der Kessel bis 2 at einschl.	1 165	831	71,5
Zahl der Kessel von 2 bis 5 at einschl.	27 067	30 875	114
Zahl der Kessel über 5 at	4 179	15 445	370

Fig. 1:

Darstellung der mittleren Drucke der von 1850 bis 1910 von Gebr. Sulzer in Winterthur und Ludwigshafen gebauten Dampfkessel.



[12]) Vgl. Schüle: Techn. Thermodynamik, II. Teil, Berlin 1930.
[13]) Vgl. Conrad Matschoß: Die Geschichte der Firma Gebr. Sulzer in Winterthur und Ludwigshafen a. Rh. (Jahrbuch d. V. D. J. 1910).

Bis zum Jahre 1895 etwa wurde der Dampfdruck allmählich weiter bis auf 8—10 at gesteigert und die Dampfmaschinen mit gesättigtem Dampf betrieben. Von dieser Zeit an hat im Dampfmaschinenbau eine grundlegende Verbesserung durch Einführung der Dampfüberhitzung Fuß gefaßt. Der Gedanke der Dampfüberhitzung selbst stammt von dem elsässischen Ingenieur Hirn; die erste praktische Anwendung geschah durch Wilhelm Schmidt. Die Ueberhitzung des Dampfes hat sich als eines der wichtigsten Mittel zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit von Dampfanlagen, wenigstens soweit sie zum Antrieb von Dampfmaschinen dienen, erwiesen. Der thermische Wirkungsgrad der Dampfmaschinen nimmt mit steigender Dampfüberhitzung zu. Hinzu kommt noch eine weitere thermodynamische Ueberlegenheit dadurch, daß die Wärmeverluste an die Zylinderwände bei der Umsetzung von Wärme in Kraft bei überhitztem Dampf viel geringer sind als bei Sattdampf. Es wurden zunächst Ueberhitzungstemperaturen bis 350° C angewandt unter gleichzeitiger Steigerung der Dampfdrucke. Bis zum Jahre 1920 steigerten sich die Kesseldrucke auf etwa 20 at und seit dem Jahre 1921 das durch die Bekanntgabe der überraschenden Ergebnisse der von Wilhelm Schmidt durchgeführten Versuche mit überhitztem Dampf von 58 at als Geburtsjahr des Höchstdruckdampfes angesehen wird, wurden sie auf 30 bis 40 at und in einer Zahl von Fällen auf 60 at und darüber gesteigert. Hand in Hand mit der Druckerhöhung führte Wilhelm Schmidt auch eine Zunahme der Heißdampftemperatur auf 400° C, ja auf 450° und 465° C durch, nachdem seine grundlegenden Versuche den Beweis erbracht hatten, daß die Anwendung höchster Drucke bei gleichzeitiger Unterteilung des Druckgefälles in mehrere Druckstufen und Anwendung der Zwischenüberhitzung des Dampfes eine wesentliche Verminderung des Wärmebedarfs für die Einheit der Leistung ergibt. Auch in neuester Zeit ist die Tendenz der Dampfdrucksteigerung an umfangreichen Versuchen und Versuchsanlagen zu erkennen. So arbeitet z. B. der Schmidt-Hartmann-Kessel bei 60 at und der Löfflerkessel bei 120 at. In beiden wird der Dampf mittelbar erzeugt. Beim Benson-Verfahren geht man sogar so weit, das Wasser auf seinen kritischen Druck von 224,2 at zu bringen und dann zu erhitzen, wobei es nach Erreichung der kritischen Temperatur von 375° C direkt in Heißdampf übergeht. Diese Sonderbauarten für Hochdruckdampf befinden sich jedoch noch im Versuchsstadium.

Die gewaltige Entwicklung in der Dampfwirtschaft konnte natürlich nur vor sich gehen durch gleichzeitige Mitentwicklung der Apparatur, die zur Erzeugung des Dampfes gebraucht wird. Das wichtigste Konstruktionselement hierzu war und ist heute in immer stärkerem Maße das Rohr. Für die ältesten Bauarten der Kessel, den flachwandigen sogenannten Kofferkesseln und den zylindrischen Walzenkesseln wurde das Rohr in genieteter Form fast ausschließlich als Leitungselement gebraucht. Aber bereits in den Mehrfachwalzenkesseln wurden Rohre als Rauchrohre in die Kessel selbst zur Vergrößerung der Heizoberfläche eingebaut. Die Flammrohrkessel (liegende Walzenkessel), bei denen ein oder mehrere weite Rohre die Kesseltrommel durchziehen und als Innenfeuerung dienen, und die bereits zu Anfang des vorigen Jahrhunderts von Trevithik in den Grubenbezirken von Cornwalls eingeführt wurden, entwickelten sich durch den Uebergang zu gewellten Flammrohren, die die Schwierigkeit der durch die Wärmespannungen bedingten Längenausdehnung überwandten, zu reifen und bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts bevorzugten Konstruktionen. Eine weitere Entwicklungsstufe des reinen Walzenkessels bedeutete der Uebergang zum Heizröhrenkessel durch Einbau vieler Heizröhren von ca. 50 bis 60 mm Durchmesser, die von Kesselwasser umgeben sind und die heizbare Kesseloberfläche erheblich vergrößerten und einen geringeren Platzbedarf der Gesamtanlage beanspruchten. Sie werden heute noch als Lokomotiv-, Lokomobil- und

Schiffskessel ausgeführt. Das Bedürfnis nach größerer Leistungsfähigkeit, wie es die aufkommende Großindustrie und besonders die Elektrizität erzeugenden Werke hatten, führte in den drei letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts zur Konstruktion der Wasserrohrkessel. Diese sind gekennzeichnet durch ein oder mehrere Bündel gerader oder gekrümmter wasserführender Rohre, die durch Wasserkammern oder mit einer oder mehreren Kesseltrommeln verbunden sind. Die Wasserrohrkessel werden bis auf den heutigen Tag als Ein-, Zwei- oder Teilkammerkessel und seit 25 Jahren auch als Steilrohrkessel bis zu den höchsten Betriebsdrucken gebaut.

Die Entwicklung der Dampfkessel hing naturgemäß mit der Verbesserung der Baustoffe und der Herstellungsweise eng zusammen. In der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts brauchte an die Qualität der Kesselbaumaterialien im allgemeinen und an die Rohrerzeugnisse im besonderen keine hohen Beanspruchungen gestellt zu werden, da Dampfdruck und dementsprechend die Dampftemperaturen noch recht niedrig lagen. Genietete oder stumpfgeschweißte Rohre aus Kupferblech genügten den Sicherheitsanforderungen vollkommen. Der Bedarf an Rohren für den Kesselbau war ein quantitativer, durch die Art der Produktion bestimmter, der durch die allgemeine Einführung und Verbreitung der Dampfkraft entstand. Erst mit der Steigerung der Dampfdrucke gesellte sich zu der Frage der Möglichkeit der Lieferung allmählich auch die Forderung nach der Qualität der Erzeugnisse. Die gegen Mitte des 19. Jahrhunderts immer größer werdende Zahl von Vorschlägen für neue Herstellungsverfahren und die große Zahl von Patentanmeldungen (bis 1880 zählte man bereits 94 englische und deutsche Rohrherstellungspatente) lassen deutlich erkennen, daß schon frühzeitig in der Röhrenfabrikation auf Qualitätsverbesserung der Erzeugnisse, die den Anforderungen der Dampftechnik entsprang, hingearbeitet wurde. Die Erhöhung des Dampfdruckes auf 5 at und mehr verlangte im Interesse der Sicherheit des Betriebes auch von den Dampfrohren größere Zuverlässigkeit. Die Stumpfschweißnaht war nicht allein wegen der im damaligen Schweißeisen reichlich vorhandenen Schlackeneinschlüsse, sondern auch durch die Möglichkeit stellenweiser Stärkeunterschiede immer ein Unsicherheitsfaktor. Diesem Unsicherheitsmoment begegnete die Rohrindustrie durch die Einführung der Ueberlappungsschweißung, die bereits 1824 erstmalig durch James Russel aus Wednesbury angewandt worden war, aber erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in Deutschland Eingang fand. Die überlappt- oder patentgeschweißten Rohre haben denn auch allen durch die Steigerung des Innendrucks an sie gestellten Forderungen genügt, besonders als die Schweißnaht selbst durch die nach 1850 einsetzende Umwälzung der Eisenindustrie infolge der Erfindungen von Siemens, Martin, Bessemer und Thomas durch Einführung des Flußeisens immer einwandfreier ausgeführt werden konnte. Die Erzeugung des Flußeisens gestattete schließlich, bedingt durch seinen homogenen Gefügeaufbau, Rohre direkt aus dem vollen Block zu walzen, nachdem bereits längere Zeit vorher Einzelversuche zur Herstellung nahtloser Rohre durch Aufbohren oder Pressen von massiven Blöcken teilweise Erfolg gezeitigt hatten. Das Gefühl und der Unsicherheitsfaktor der Schweißnaht gegenüber Innendrucken hat schon vor der Einführung der heute noch gebräuchlichen Verfahren immer wieder Anregung zur Entwicklung von Ideen für die Fabrikation nahtloser Rohre gegeben, ehe der zeitweilige Stand der Technik sie unbedingt erforderte. Man kann aber immerhin feststellen, daß die rapide Entwicklung und Ausbreitung der Dampfmaschine mit ihren ständig steigenden Drucken durch ihre Vorläufer (bereits 1812 hatte Reichenbach eine Hochdruckdampfmaschine für 8–10 at gebaut und 1886 hatte Schmidt eine solche für 60 at entworfen) eine Haupttriebfeder zur Entwicklung der Verfahren zur Herstellung nahtloser Rohre nach 1880 gewesen ist und den Bedarf in qualitativer Richtung bereits lange vor der Erfindung entsprechender Herstellungsverfahren ausgerichtet hat.

Während das überlapptgeschweißte Rohr dem nahtlosen Rohr noch ca. 10 Jahre nach der Einführung der nahtlosen Herstellungsverfahren trotz der weiteren Drucksteigerungen im Dampfkesselwasser, infolge der billigeren Produktionsgrundlagen starke Konkurrenz machen konnte, brachte die aufkommende Dampfüberhitzung von 1895 ab durch die damit verbundenen höheren Festigkeitsanforderungen in Gebieten bis 350° C dem nahtlosen Rohr den ihm gebührenden Vorrang. Das nahtlose Rohr gab hierfür allein noch die absolute Gewähr der Sicherheit der Anlagen, da schon wenig geschwächte Stellen der Schweißnaht ein Platzen des geschweißten Rohres im Betriebe und damit Gefahren für Menschenleben und für die Anlagen selbst zur Folge haben können, die die Konstrukteure sowohl im Interesse der Kesselbesitzer als auch der Kesselhersteller nicht mehr auf sich nahmen. Der dann seit 1910 einsetzende Uebergang zur Verwendung von Höchstdruckdampf in Verbindung mit den zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit erhöhten Ueberhitzungstemperaturen wäre ohne das Element des nahtlosen Rohres nicht denkbar gewesen. Trotz fortwährender Qualitätsverbesserung des Materials und Einführung peinlichster Prüfverfahren der nahtlosen Rohrerzeugnisse kam es sogar so weit, daß den nach dem Kriege gesteigerten Ueberhitzungstemperaturen bis etwa 475° C auch die aus dem üblichen weichen Flußstahl gefertigten nahtlosen Rohre, infolge der niedrigen Warmfestigkeit des Materials und dessen geringen Widerstands gegen Verzundern, nicht mehr voll gewachsen waren. Streckgrenze und Bruchgrenze des kohlenstoffarmen Flußeisens, des bis dahin allgemein gebräuchlichen Rohrmaterials für nahtlose Rohre, fallen bei steigenden Temperaturen nach 350° C beträchtlich. Bei 100° C beträgt beispielsweise die Streckgrenze nur noch ca. 30 % der Bruchfestigkeit (siehe Schaubild 1).

Schaubild 1

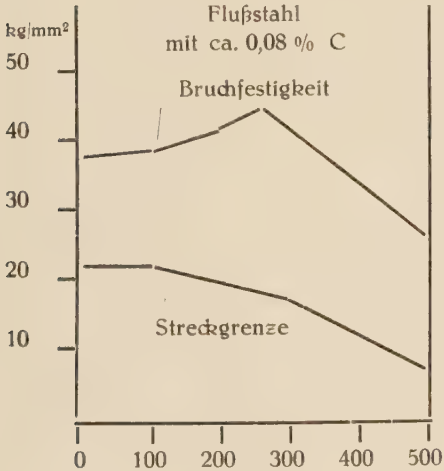
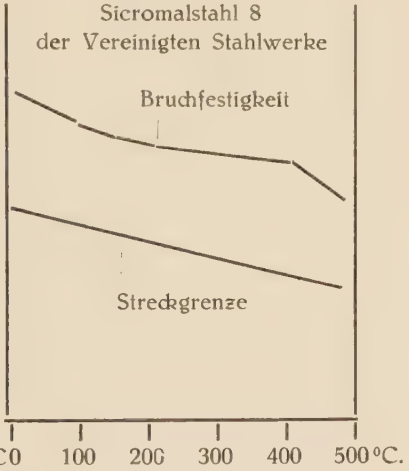


Schaubild 2



Der vorübergehend gewählte Ausweg der Verstärkung der Rohrwandungen löste nicht nur nicht die Frage der Zunderbeständigkeit, sondern besaß noch wesentliche Nachteile infolge des dadurch bedingten höheren Gewichts und des verschlechterten Wärmedurchgangs. Der schlechtere Wärmedurchgang begünstigte infolge der erheblichen Temperaturunterschiede die Entstehung von starken Spannungen zwischen äußerer und innerer Rohrfaser, die durch Auslösung von Spannungsrissen die Betriebssicherheit derartiger Anlagen gefährdeten.

Diese Nachteile führten zu neuen hohen Quatitätsansprüchen, denen die Rohrindustrie mit Hilfe der Metallurgie durch eingehende Forschungen zur Herstellung warmfester und zunderbeständiger Stähle und der Möglichkeit zu deren Auswalzung zu nahtlosen Rohren gerecht zu werden suchte. Bezüglich der Werkstoffe ging man dazu über, zunächst die alten Werkstoffe durch metallurgische Behandlung des Stahlbades und durch Vergütung des Werkstoffes nach Erhaltung seiner Endform zu verbessern. Bahnbrechend auf diesem Wege wurde die Erfindung von A. Fry, Essen, durch die Herstellung eines alterungsfreien, unlegierten, weichen Flußstahls, dem Kruppschen „Izettmaterial". Daneben strebte man eine Steigerung der Materialqualität, besonders der Dauerstandfestigkeit und der Warmstreckgrenze durch Legierungszusätze an, was durch Stähle mit Chrom-, Mangan-, Nickel-, Molybdän-, Vanadium-, Titan- und Wolframgehalten mehr oder weniger erreicht wurde. Als besonders geeignet wurde niedrig gekohlter Molybdänstahl mit ca. 0,5 % Mo, Chrom-Molybdänstahl mit ca. 1 % Cr und 0,5 % Mo und Silizium-Chrom-Aluminiumstaht (unter dem Namen Sicromalstahl der Vereinigten Stahlwerke bekannt) mit ca. 6 % Cr für Kesselrohre gefunden. (Die Verbesserung der Warmstreckgrenze für den Sicromalstahl der Vereinigten Stahlwerke ist aus dem zweiten Schaubild zu entnehmen.) Die Verarbeitung derartig legierter Werkstoffe zu nahtlosen Rohren erforderte eingehende Versuche und sorgfältigste Ueberwachung bei der Fabrikation, da diese Materialien wegen ihrer höheren Warmfestigkeit einen erhöhten Widerstand gegen Warmverformung ausüben und dazu noch meist aus Gründen der Gefahr einer Gefügeverschlechterung nur enge Temperaturgrenzen zur Warmverarbeitung zulassen. Es ergab sich, daß die alten Rohrwalzverfahren, wenn sie beispielsweise durch Verstärkung ihrer Maschinen-Konstruktionen und durch Verminderung der Walzgeschwindigkeiten und der Querschnittsabnahmen auf die Erfordernisse für die neueren Materialien eingestellt wurden, recht wohl zur Erzeugung solcher hochqualifizierten Rohre geeignet waren.

Die Entwicklung in der Energie- und Dampfwirtschaft hat bis zum ersten Jahrzehnt des zwanzigsten Jahrhunderts an die Röhrenerzeugung qualitativ die höchsten Anforderungen gestellt und die Entwicklung der Fabrikationsverfahren, wie erläutert, wesentlich beeinflußt. In den letzten 25 Jahren gesellte sich ihr hierin die chemische Industrie zu, die die Anforderungen der Dampfwirtschaft in qualitativer Beziehung noch übertroffen hat. In der chemischen Industrie hatte das Rohr als Leitungsrohr für Dampf, Flüssigkeiten und Gase sowie in der Form von Apparateteilen schon immer eine große Bedeutung. Solange in der Chemie Rohre nur als Leitungs- und Apparateelemente unter Innendrucken, die nicht höher als die üblichen Dampfdrucke lagen, gebraucht wurden, genügten die für Dampfkessel gebräuchlichen Flußeisenrohre. An den Stellen und Apparaten, die Korrosionen durch Säuren, Laugen usw. ausgesetzt waren, vermißte man zwar von jeher Konstruktionsmaterialien und darunter fallend auch Rohre mit den dem Flußeisen charakteristischen mechanischen Eigenschaften und gleichzeitigem hohen Korrosionswiderstand. Durch Verwendung von Blei- oder entsprechend anderer gegen die jeweiligen Agenzien korrosionsfesten Metallrohre oder durch Auftragen solcher Metallschichten auf die dem chemischen Angriff ausgesetzten Oberflächen war man aber in der Lage, diese speziellen Schwierigkeiten zu meistern. Diese Hilfsmaßnahmen genügten indessen nicht mehr, als von 1910 an in der chemischen Großindustrie Probleme gelöst werden mußten, die nur in Gebieten hohen Druckes durchzuführen waren, wie beispielsweise die Gewinnung von Ammoniak nach dem Haber-Bosch-Verfahren oder nach Claude oder wie die Verflüssigung von Kohle zu synthetischem Benzin oder die Gewinnung von Methylalkohol usw. Diese Verfahren müssen unter Drucken bis 200, teilweise sogar bis 1000 at und in vielen Fällen gleichzeitig bei

Temperaturen bis 600° C und darüber arbeiten, wozu noch Korrosionsangriffe durch aggressive Gase, Säuren und Wässer auf die Apparatur hinzukommen. Allein schon die Erhöhung der Innendrucke auf hunderte von Atmosphären erforderte Rohre mit derart dicken Wandstärken und solchen Eigenschaften des gewöhnlichen Kohlenstoffstahls, wie sie für den Dampfkessel nie in Frage kamen. Den hinzukommenden hohen Temperaturen aber in Verbindung mit chemischen Angriffen war das bislang zur Verarbeitung zu Stahlröhren gebräuchliche Flußeisen trotz Qualitätssteigerung nicht mehr gewachsen. Die Metallurgie paßte sich auch hier den Forderungen der verbrauchenden Industrie rasch an durch die Entwicklung von Edelstählen, d. h. kohlenstoffhaltigen Eisenlegierungen mit Zusätzen von Nickel, Chrom, Wolfram, Silizium u. a. Besondere Bedeutung erhielten die hochprozentigen Chromstähle mit 11 bis 17 % Cr-Gehalt und die austenitischen Chromnickelstähle infolge ihrer guten Korossionseigenschaften, die nach dem Kriege nicht allein in der chemischen Industrie als nichtrostende Stähle weitere Verbreitung fanden. Seit Bekanntwerden der Eigenschaften dieser hochlegierten Sonderstähle wurden in richtiger Erkenntnis des dafür aufkommenden Bedarfs von Seiten der Röhrenhersteller große Anstrengungen gemacht, auch diese Materialien zu nahtlosen Rohren zu verarbeiten. Bis zum Jahre 1926 hatten diese Bemühungen jedoch kaum Erfolge aufzuweisen, sodaß man sich bis dahin begnügen mußte, Rohre aus derartigem Material über den Umweg der Schlitzrohrfabrikation aus Blechen mit autogener Verschweißung der Naht herzustellen. Derartige Erzeugnisse genügten zwar für Zwecke niedrigen Druckes und gegen Korrosionen, für höheren Innendruck dagegen kamen sie wegen der bekannten Mängel der Schweißnaht nicht in Frage. Im Jahre 1926 gelang es schließlich den Mannesmann-Röhrenwerken als erstem Rohrerzeuger, nahtlose Rohre aus vollen Blöcken aus den austenitischen V-AStählen der Firma Krupp, Essen, herzustellen und zwar im Wege der Kombination zwischen hydraulischer Presse und Duo-Rohrwalze. Die Fabrikation bereitete zunächst infolge der Empfindlichkeit der Stähle gegenüber Ueberhitzung und infolge ihrer hohen Warmfestigkeit bei der Warmverarbeitung und durch ihre unangenehmen Eigenschaften des „Fressens“ in den Ziehwerkzeugen beim Kaltziehen große Schwierigkeiten, die nur die Auswalzung kurzer Rohre bis maximal 4 m Länge gestatteten. Diese Schwierigkeiten wurden im Laufe der letzten Jahre durch eingehende Forschungen unter Einführung genauester Betriebsüberwachung durch Materialprüfungs- und Temperaturmeßmethoden überwunden, sodaß heute diese Rohre in denselben Längen und Abmessungen wie Flußeisenrohre mit allen bekannten nahtlosen Rohrfabrikationsverfahren herstellbar sind. Die Mannesmannröhrenwerke haben sich durch die Aufnahme derartiger Sonderstähle in ihr Walzprogramm als erste Firma und durch einen Vertrag mit Krupp, der ihr das alleinige Recht zur Verarbeitung der Kruppschen Sonderstahle zu nahtlosen Rohren sichert, einen nicht zu unterschätzenden Vorsprung in der Röhrenindustrie gesichert.

In den letzten Jahren haben sich, wie vorauszusehen war, die nahtlosen Rohre aus legierten Stählen außer in der chemischen Industrie weitere Absatzgebiete z. B. im Bergbau zur Ableitung saurer Grubenwässer, im Schiffbau aus Gründen der Seewasserbeständigkeit, in Brauereien, in der Nahrungsmittelindustrie, in der Papier- und Zellstoffindustrie, im Motorenbau und überall in Betrieben mit Wärmewirtschaft, wo Temperaturen bis 1000° C vorkommen können, erobert. Zur Herstellung von nahtlosen Rohren aus legiertem Material sind schließlich außer den Mannesmannröhrenwerken auch solche Röhrenwerke erfolgreich übergegangen, die eine eigene Stahl- bzw. Edelstahlbasis besitzen, wie z. B. die Vereinigten Stahlwerke, Düsseldorf, und die Vereinigten Edelstahlwerke in Krefeld.

II. Abschnitt:
Die Entwicklung der Herstellungsverfahren.

Die glattwandigen Stahlrohre werden nach ihrer Beschaffenheit in zwei große Gruppen eingeteilt:

1. in Rohre m i t Naht (geschweißte Rohre) und
2. in Rohre o h n e Naht (nahtlose Rohre).

Diese Kennzeichnung gibt von vorneherein einen Anhaltspunkt für ihre Verwendungsmöglichkeit und über ihre Eigenschaften, wie auch z. T. über ihre Herstellungsverfahren, von denen die ältesten lediglich zur Fabrikation von Rohren mit Naht gedient haben. Für beide Rohrgruppen sind im Laufe der Zeit neue Fabrikationsverfahren eingeführt und verbessert worden, um den Bedarf der industriellen Entwicklung decken und den steigenden qualitativen Anforderungen gerecht werden zu können. Qualitative Vorteile des nahtlosen Rohres sind beim geschweißten Rohr, neben der bei diesem nur bis zu gewissen Grenzen möglichen Qualitätsverbesserung, durch Vorteile in der wirtschaftlichen Herstellung und des daraus resultierenden billigen Preises ausgeglichen worden. Beide Rohrarten werden heute noch nebeneinander hergestellt und haben ihre bestimmten Absatzgebiete, wenngleich für alle Verwendungsmöglichkeiten dem nahtlosen Rohr die Zukunft gehören dürfte.

Wie der Nahme sagt, besitzt d a s R o h r m i t N a h t eine Naht in seiner Wandung, die durch eine nachträgliche Verbindung zwischen vorher getrennt gewesenen Materialteilen geschaffen worden ist. Dabei ist es im Prinzip gleichgültig, ob die Naht durch Biegen entsprechend langer und breiter Blechstreifen in ihrer Längsachse oder durch Wickeln von Blechstreifen um runde Stäbe spiralförmig entstanden ist. Zur Herstellung der Naht sind im Laufe der Zeit verschiedene Verfahren entwickelt worden, die sich einerseits in der Art des Zusammenfügens der Blechränder zu Rohren, nämlich stumpf gegeneinander oder überlappt übereinander und andererseits durch die Ausführung der Vereinigung zur Naht durch:

1. Feuerschweißung,
2. Koks- und Wassergasschweißung,
3. Schmelzschweißung und
4. elektrische Schweißung

unterscheiden. Zur Durchführung der Schweißung, zur Glättung der Naht und zum Ausgleich der Festigkeitseigenschaften zwischen Naht und Ursprungmaterial sind in Verbindung mit den aufgeführten Schweißmethoden ebenfalls verschiedene Verfahren entwickelt worden und zwar:

a) Hämmern von Hand oder mit mechanischen Vorrichtungen,
b) Ziehen auf Schleppziehbänken und
c) Walzen über Rohr-Duowalzen.

D a s R o h r o h n e N a h t hat eine vollkommen gleichmäßige, homogene Wandung. Die Möglichkeit seiner Herstellung ist, obgleich das nahtlose Rohr heute als das natürlichere erscheint, wesentlich später als die des Rohres mit Naht entstanden. Erst in den letzten drei Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts liegen die Anfänge der heutigen nahtlosen Rohrherstellungsverfahren, denen durch die Erfindungen Heinrich Ehrhardts und der Gebrüder Mannesmann dauernder Erfolg beschieden wurde. Das Ehrhardt- und das Mannesmann-

verfahren haben weitgehende Anwendung zur nahtlosen Rohrfabrikation in der ganzen Welt gefunden und sind heute noch als die geeignetsten Verfahren anerkannt. Durch Kombination mit beiden Verfahren sind auch die zur Herstellung geschweißter Rohre angewandten Zieh- und Walzverfahren für die nahtlose Rohrherstellung praktisch verwertbar geworden. Es werden heute folgende Verfahren zur nahtlosen Rohrfabrikation angewendet:

a) Walzverfahren:
   1. Duo-Walzverfahren,
   2. Mannesmann-Schrägwalzverfahren mit Pilgerwalzverfahren,
   3. Stiefel- oder Scheibenwalzverfahren,
   4. Aufweit- oder Querwalzverfahren,
   5. Kontinuierliches Verfahren,
   6. Walzverfahren für große Rohrdurchmesser nach Roeckner.

b) Zieh- und Preßverfahren:
   1. Ehrhardtverfahren,
   2. Spritzverfahren.

Die Weiterverarbeitung von Rohren mit Naht und nahtloser Rohre zu kleineren Abmessungen oder zu Präzisions-Ausführungen erfolgt nach dem Ziehverfahren, dem die Rohre sowohl im warmen, d. h. im glühenden als auch im kalten Zustand unterworfen werden können. Man unterscheidet hiernach:

1. Warmziehverfahren,
2. Kaltziehverfahren durch
   a) Stopfenzug,
   b) Stangenzug.

Im anschließenden Abschnitt wird die Entwicklung der sich in der Praxis durchgesetzthabenden Herstellungsverfahren für Rohre mit Naht und für nahtlose Rohre bis zum heutigen Stand behandelt.

A. Geschweißte Stahlrohre.

a) Stumpfgeschweißte.

Im Gegensatz zu anderen hüttenmännischen Konstruktionsprofilen, deren Herstellung z. T. bis ins Altertum zurück zu verfolgen ist, ist die Fabrikation des glattwandigen Metallrohres erst das Ergebnis neueren und in seiner Vollkommenheit erst neuesten Datums. Erst die Erfindung des Pulvers und mit ihm die Einführung der Feuerwaffen gab der Technik einen starken Anreiz zur Ausbildung von fabrikatorischen Rohrherstellungsverfahren. Für Kanonenrohre war die Fabrikation insofern leichter, als man hierzu dickwandige Rohre benötigte, die sich verhältnismäßig leicht aus Gußeisen oder Metall gießen ließen. Dagegen konnten gegossene Rohre für Handfeuerwaffen wegen der für diese aus Gründen des Gewichts geforderten dünnen Wandstärken und der aus Gründen der Zielsicherheit geforderten, möglichst gleichmäßigen Bohrungen und glatten Innenwandungen nicht verwertet werden. Hierfür kamen von vorneherein nur schmiedbare Materialien in Frage, unter denen sich aus Festigkeitsgründen des schon seit dem Altertum bekannte Schweißeisen eignete. Bis zum Ende des 15. Jahrhunderts wurde das Schweißeisen unmittelbar aus den Eisenerzen im sogenannten Rennfeuer gewonnen. Das Erz wurde mittels Holzkohlen durch Einblasen von Luft niedergeschmolzen. Hierbei verschlackte natürlich ein beträchtlicher Teil des Erzeinsatzes und der Brennstoffverbrauch war im Verhältnis zum erschmolzenen Eisen ein überaus hoher. Da die Temperatur auf diese primitive Weise nur verhältnismäßig niedrig sein konnte, entstand kein flüssiges

Eisen, sondern nur eine von Schlacken durchsetzte teigige Eisenmasse, die erst mit Hilfe des Hammers zusammengeschweißt werden mußte, das sogenannte Schweißeisen. Später, nachdem man Roh- oder Gußeisen herzustellen gelernt hatte, fand man, daß man dieses durch wiederholtes Umschmelzen und dadurch verursachte Oxydation des Kohlenstoffes ebenfalls in schmied- und schweißbares Eisen umwandeln konnte. Diese Herstellungsart — das sogenannte „Frischen" — war erheblich wirtschaftlicher als die Rennarbeit. Trotzdem ist das Rennverfahren in Europa erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts verschwunden, während sich die Naturvölker noch heute dieses Verfahrens bedienen. Das gewonnene Schweißeisen wurde nun zur Rohrherstellung mittels Hämmer oder anderer Schlaginstrumente im warmen, d. h. glühenden Zustand in bandartige flache Plattenstreifen geformt und um runde Stäbe gebogen, sodaß sich die gegenüberliegenden Streifenlängsränder gegeneinander oder auch übereinander legten. Nach neuerlicher Erhitzung dieser aneinanderstoßenden Ränder auf Weißglut wurden diese durch kräftiges Hämmern stückweise zusammengeschweißt [14]). Eine andere Art der Rohrherstellung bestand in der Wicklung der Blechstreifen in spiralförmigen Windungen um Rundstäbe, worauf die sich berührenden Ränder ebenfalls durch Hämmern zusammengeschweißt wurden. Aus der Art dieser Verfahren kann man erkennen, daß die damalige Rohrfabrikation eine recht große Geschicklichkeit und Handfertigkeit erforderte. Sie paßte in die Zeit des blühenden Handwerks, in die Zeit der Zünfte und der gemächlichen Entwicklung des Mittelalters.

Mit der Wende des 18. zum 19. Jahrhundert setzte nun auf allen Gebieten der Technik, hervorgerufen durch vielfältige Erfindungen einerseits und Erfordernisse der nach der französischen Revolution einsetzenden große Kriege andererseits, ein fühlbarer Bedarf an industriellen Erzeugnissen ein, dem auch die rein handwerksmäßige Herstellung der Rohre nicht mehr gerecht werden konnte. Im Jahre 1808 wird zum ersten Mal das Walzen von eisernen Rohren durch Benjamin Cook in Birmingham erwähnt, der zusammengebogene Blechstreifen mit dem Hammer verschweißen und in einem Walzwerk glätten wollte. Aber erst die Einführung des durch Wasserkraft betriebenen Schwanz- oder Wipphammers des englischen Waffenfabrikanten Henry Osborn zu Bordesley im Jahre 1812 als Ersatz des zum Schweißen bisher gebräuchlichen Handhammers leitete eine neue Periode ein. Er ließ sich im britischen Patent Nr. 3617 vom 28. 11. 1812 das Schweißen von Rohren unter einem Wasserhammer und unter einer schwingenden Walze schützen und beschreibt im Patent Nr. 4105 vom 1. 9. 1817 das Schweißen von Rohren über einen feststehenden Dorn in einem Walzwerk mit mehreren Rundkalibern von abnehmender Weite. Außerdem berichtet er noch über die Herstellung spiralgeschweißter und konischer Rohre. In England, wo man bereits seit 1710 Patentgesetze kannte, war es auch, wo im Jahre 1824 dem Rohrfabrikanten James Russel aus Birmingham ein Rohrwalzpatent und kurz danach im Jahre 1825 das erste brauchbare Rohrfabrikationspatent an James Whitehouse in Wednesbury erteilt wurde. Sein Verfahren, das den Grundstein zur raschen Weiterentwicklung der Rohrherstellung legte, gliederte sich in zwei Fabrikationsstufen. In der ersten Stufe wurde aus Schweißeisenblechstreifen durch Umhämmern oder Umpressen um eine Rundstange ein in der Längsachse offenes Rohr hergestellt. Dieses Vorprodukt wurde alsdann zur Hälfte

[14]) Unter Schweißen ist die Eigenschaft der Werkstoffe zu verstehen, sich im hocherhitzten, plastischen Zustande miteinander verbinden zu lassen, sodaß zwischen den Kristallen der zusammengepreßten Teile vollkommene Adhäsion eintritt ohne Zuhilfenahme eines Klebemittels oder Lotes. Die Schweißtemperatur liegt im allgemeinen dicht unterhalb des Schmelzpunktes des betreffenden Materials.

in einen Flammofen gesteckt und auf ca. 1350° C vorgewärmt. Die aus dem Ofen ragende kalte Rohrhälfte wurde nach Erreichung der Temperatur in eine Zange gespannt, die in eine angetriebene endlose Kette einer Kettenziehbank eingehakt wurde. Sobald die Zange in die endlose Kette eingehakt war und das Rohr damit aus dem Ofen herauszog, wurden mit einer an der Ziehbank befestigten Vorrichtung zwei um das Rohr gelegte und von der Vorrichtung gehaltene Zieheisenhälften rasch zusammengezogen, sodaß der Durchgang enger wurde und die Längskanten des offenen Rohres dadurch in der Schweißhitze zusammengepreßt wurden und verschweißten. Nach dem Durchgang durch das Zieheisen war die Hälfte des Rohres fertig; es wurde nun umgedreht und die andere Rohrhälfte im Ofen erhitzt und in derselben Weise durch die Zieheisenhälften gezogen. Nach Abschneiden der an beiden Enden durch die Zange zusammengedrückten Enden war das Rohr fertig. An Stelle der Zieheisenhälften hat man in England auch Zangen verwendet, deren Mundstücke in Form der Zieheisenhälften ausgebildet waren und die durch lange Zangenschenkel beim Rohrdurchgang von den Arbeitern von Hand zusammengepreßt werden konnten, um so die Schweißung zu bewirken. In England hat sich dieses Verfahren z. T. bis zur Jetztzeit erhalten, während es auf dem Kontinent in etwas abgeänderter Form ausgebildet wurde. Man ging hier dazu über, die Zange nicht direkt in das Rohrmaterial greifen zu lassen, sondern einen massiven Rundstab an dem Ende des Blechstreifens anzuschweißen, an dem die Zange angriff. Hierdurch wurde es zugleich ermöglicht, die ganze Rohrlänge in einem einzigen Durchgang durch das Zieheisen fertigzustellen und später sogar die erste Stufe (das Vorrunden der Blechstreifen durch Hämmern oder Pressen) zu ersparen. Das Anschweißen geschah in einfacher Weise durch Anwärmen von ca. 150 mm Länge des Blechstreifens auf Schweißhitze, worauf der ebenfalls auf Schweißhitze gebrachte Rundstab mit dem Blechende in der Muldenrinne eines Ambosses so zusammengehämmert wurde, daß sich das Blechende tütenförmig um ein Stabende herumlegte. Hierauf wurde der Blechstreifen mit dem angeschweißten Rundeisen in der ganzen Länge soweit in einen Schweißofen gesteckt, daß nur das freie Stabende unter der wenig geöffneten Ofentüre herausragte. Die vor dem Ofen aufgestellte Rohrziehbank mit dauernd umlaufender endloser Kette besaß einen Haltebock, in den man einen aus einem Stück gefertigten Façonring einlegen und festhalten konnte. Diese Ziehringe hatten einerseits, um das Zusammenbiegen des flachen Blechstreifens zu ermöglichen, einen langen weiten Konus, der sich auf der der Einführung entgegengesetzten Seite so weit verengte, daß damit die Blechlängskanten zusammengestoßen und die Verschweißung herbeigeführt werden konnte.

Nach dem Durchgang durch das Zieheisen löst sich der Zangenhaken durch Nachlassen der Zugkraft von selbst von der Kette und die Scherenzange vom Rundstab, sodaß das Rohr leicht abgeworfen werden kann. Die Vereinigung der Vorrundung mit dem Stumpfschweißen der Blechränder wurde aber noch lange Zeit deshalb nicht ausgeführt, weil die in der Schweißhitze geringe Festigkeit des Blechstreifens dem gleichzeitigen Vorrunden und Fertigziehen meist nicht gewachsen war, sodaß der Fabrikationsausschuß zu groß wurde. Man half sich zunächst dadurch, daß man vor dem Schweißofen zwei Ziehbänke nebeneinander aufstellte. Die erste dieser Bänke besorgte das Vorrunden. Nach erneuter Erhitzung des vorgerundeten Schlitzrohres auf Schweißtemperatur begann erst auf der zweiten Ziehbank in der oben beschriebenen Weise das Stumpfschweißen und Fertigziehen des Rohres. Beide Arbeitsgänge wurden laufend hintereinander ausgeführt und können so schon mit den heutigen Verfahren der Fabrikation am laufenden Band verglichen werden. In der Mehrzahl der Fälle erhielten jedoch die so gefertigten Rohre aus Gründen des besseren Aussehens und der Forderung exakter Rundung oder auch um die bei der Fabrikation durch den Verschleiß der Werkzeuge auf-

getretenen Abweichungen vom verlangten Durchmesser auszugleichen, einen dritten Warmzug auf einer den beschriebenen Ziehbänken ähnlichen Bank, die den Namen „Kratzbank" führt. Hierzu mußten die Rohre erneut, wenn auch nur auf Rotglut, angewärmt werden, um dann auf der Kratzbank, die mit geringerer Geschwindigkeit lief, durch exakt geschliffene, kreisrunde Ziehringe aus Hartguß ihren Schlußzug zu erhalten. Hierauf wurden die Rohre an den Enden einerseits vom angeschweißten Stab und am hinteren Ende, das meist infolge des Nachlassens der Gegenkraft unvollkommen verschweißt und transig ausfiel, von dem schlechten Endstück durch Absägen befreit. Das Verfahren ist bis auf den heutigen Tag im Prinzip dasselbe geblieben und wird hauptsächlich zur Herstellung von Gasrohren von $^1/_4$ bis 2 Zoll lichter Weite angewandt.

Die heutige Fabrikation ist naturgemäß durch Einführung genauer Temperaturmessungen und Betriebskontrollen und durch die metallurgische Verbesserung der Werkstoffe in Verbindung mit der Entwicklung der laufenden Bandfabrikation weiter in der Richtung vereinfacht worden, daß es heute möglich ist, das Vorrunden und Zusammenschweißen der Blechstreifen und Kalibrierung der Rohre in einem Arbeitsgang auf einer Ziehbank zu bewältigen.

Durch geniales Zusammenwirken verschiedener neuer technischer Errungenschaften hat sich in neuester Zeit eine laufende Bandfabrikation für stumpfgeschweißte Rohre in Amerika (Fr. Moon-Verfahren) herausgebildet, die auch in Deutschland bereits ausgeführt wird und die kurz beschrieben sei: Das in Rollen auf Haspeln aufgewickelte Bandeisen wird an seinem abrollbaren Ende in Walzen geschoben, die das Bandeisen abrollen. Nach Bildung einer großen Schleife wird es durch einen auf Schweißhitze stehenden Ofen geführt, der ca. 10 bis 15 m lang ist, und in dem das Bandeisen beim Durchgang bis auf Schweißhitze gebracht wird. Das aus dem Ofen kommende Ende läuft alsdann durch eine Vorrundungswalzmaschine, in der das Blech genau wie bei der Schlitzrohrherstellung für autogene Rohrschweißung gerundet wird. Durch anschließende Walzenpaare werden die Blechkanten allmählich genähert und durch Druck stumpf zusammengeschweißt und auf folgenden, um je 90° versetzten Walzenpaaren kalibriert, womit die Rohrherstellung beendet ist. Das mit der durch diese Walzen geregelten Geschwindigkeit weiterlaufende Rohr wird dann ohne Stillstand durch eine Heißeisensäge, die während des Sägens mit derselben Geschwindigkeit wie das durchlaufende Rohr zwangsweise mitläuft, auf bestimmte Länge geschnitten. Durch eine sinnreiche Einrichtung, die die Pausenzeit der Säge verändert, kann jede gewünschte Länge eingestellt werden. Ist eine Rolle Bandstahl abgerollt, so wird dessen Ende in den Treibwalzen vor dem Ofen festgehalten und mit dem ankommenden Anfang der nächsten Blechstreifenrolle in die Backen einer zwischen die Treibrollen montierten elektrischen Stumpfschweißmaschine gespannt, wo beide Stöße in einem Augenblick zusammengeschweißt werden. Direkt neben der Schweißmaschine befindet sich eine Shapingbank oder eine automatische Feilbank, die sofort nach dem Schweißen den nicht zu vermeidenden Schweißgrad durch schnelle Striche entfernt. Während dieses kurzen Aufenthaltes läuft das erste Band weiter durch den Ofen, wobei sich der größte Teil der vor den Ofen gelegten Schleife aufbraucht. Die Schleife entsteht beim Ablauf der folgenden Stahlbandrolle von selbst wieder, da die Geschwindigkeit der vor dem Ofen ziehenden Walzen größer eingestellt ist als die der Walzen nach dem Ofen. Durch genaueste Abstimmung dieser Geschwindigkeiten und der Bandeisenlänge wird so ein kontinuierlicher Betrieb gewährleistet, mit dem es möglich sein soll, pro Tag 20–30 000 m Rohr herzustellen. Zu dieser Mengensteigerung kommt noch das in diesem Verfahren, bis auf den geringen Abbrand im Schweißofen, vollkommene Fehlen jeglichen Abfalls, was wohl als Maximum der überhaupt

möglichen Rationalisierung in der Rohrherstellung anzusprechen sein dürfte. Eine solche Anlage erfordert selbstverständlich genaueste Ueberwachung jedes einzelnen Teils, da auch nur das kürzeste Versagen an irgendeinem Punkte sofort den Stillstand der Gesamtanlage nach sich zieht. Die Anlage erfordert nur eine Belegschaft von 10–14 Arbeitern pro Schicht.

Die stumpfgeschweißten Rohre können, da sie in der Naht zweifellos eine geschwächte Stelle besitzen, nur einem verhältnismäßig geringen Innendruck mit Sicherheit widerstehen. Ihre Verwendung beschränkt sich daher auf Gasleitungen, Wasserrohre von geringem Innendruck und auf Rohre für Stahlmöbel etc. Sie werden in der normalen Fabrikation bis max. 80 mm lichter Weite hergestellt.

b) Ueberlappt geschweißte Rohre.

Wenn höhere Ansprüche an die Festigkeit der Schweißnaht gestellt werden, wie für Rohre, die höherem Innendruck ausgesetzt sind, oder wenn ein höherer Sicherheitskoeffizient gegen Aufreißen verlangt wird, genügt die stumpfe Schweißung der Rohre nicht mehr. Eine höhere Nahtfestigkeit versprach man sich verhältnismäßig einfach durch Uebereinander- statt Nebeneinanderlegen der Blechränder, weil so die bisher geschwächte Stelle jetzt die doppelte Materialstärke erhielt. Allerdings bereitete diese Ausführungsform zunächst beim Schweißen erhebliche Schwierigkeiten, da der Arbeitsdruck der Ziehringe auf der Rohrziehbank, der wohl für das Stumpfschweißen genügte, für die Ueberlappungsschweißung dagegen nicht mehr ausreichte. Da war es wieder ein Engländer, James Russel aus Wednesbury, der dem neuen Verfahren durch ein Patent im Jahre 1824 den Weg wies. Sein Patent bestand darin, die in England in primitivster Weise durch Hämmern der Ueberlappung von schweißwarmen Blechstreifen um einen massiven Eisendorn geschweißten Rohre, die äußerlich von den Hammerschlägen entstellt waren, durch Walzen wieder glatt und rund zu machen. Bei der Ausführung dieses Verfahrens wurde durch Zufall entdeckt, daß auch die Verschweißung der überlappten Naht durch entsprechend kalibrierte Walzen möglich war. Der Engländer Richard Prosser aus Birmingham erhielt hierzu im Jahre 1840 die entsprechenden Patente, womit die Rohrherstellung erstmalig auf Walzwerke überging. In Deutschland wurde das Rohrwalzverfahren 1849 eingeführt. Der Gang der Fabrikation überlappt geschweißter Rohre ist folgender: Ausgangsmaterialien sind wie für die Stumpfschweißmethode wieder Blechstreifen, die wegen der vorgesehenen Ueberlappung eine etwas größere Breite besitzen, als sie sich aus dem Umfang des zu fertigenden Rohres ergibt. Um in der Ueberlappungsschweißzone keine doppelte Rohrwandstärke zu erhalten, die einen unnötig hohen Arbeitsdruck zur Schweißung und Verquetschung des Materials erfordern würde, werden diese Blechstreifen an den Längskanten abgeschrägt. Die Abschrägung erfolgt entweder auf einer sogenannten Kantenhobelmaschine, die ihrer Bauart nach einer Rohrziehbank nachgebildet ist, und auf der die Blechstreifen von der Schleppzange unter den Kantenwinkeln entsprechend eingestellten Hobelmessern durchzogen werden oder aber durch Anwalzen auf entgegengesetzten Seiten in einem kleinen Abschrägwalzwerk. Die Abschrägung durch Walzung ist natürlich einfacher und wirtschaftlicher und wird heute meist angewandt. Es setzt allerdings einen einwandfreien Werkstoff wie z. B. Flußeisen voraus, während für Schweißeisen das Hobelverfahren bevorzugt wurde, da es blasige und rissige Kantenstellen, die sich schlecht verschweißten, im Gegensatz zur Walzung bloßlegte und dadurch die Fertigfabrikation vor größerem Ausschuß bewahrte.

Die abgeschrägten Bleche werden darauf in einem Wärmofen angewärmt und auf einer Rohrziehbank „eingerollt" oder gerundet.

Diese Operation ähnelt der Schlitzrohrherstellung für stumpfgeschweißte Rohre, nur daß hier kein Anschweißstab angeschweißt wird. Die Bleche werden zuvor an einem Ende auf einem Spezialamboß tütenförmig zugespitzt und dann im Ofen auf ihrer ganzen Länge erhitzt. Nach Erreichung der richtigen Temperatur werden die zugespitzten Blechstreifenenden mittels langarmiger Zangen aus dem Ofen geholt, durch den Ziehtrichter der vor dem Ofen befindlichen Ziehbank geschoben, von der Schleppzange gepackt und durch den Ziehtrichter gezogen. Dieser trichterförmige Ziehring hat eine allmählich verlaufende Erweiterungsnut, die bedingt, daß sich die Blechränder bei dem Rundungsvorgang ohne sich zu berühren übereinander legen. Die so vorgerundeten Rohre werden anschließend in einen Schweißofen gebracht, in dem sie bis zur Schweißhitze erwärmt werden. Haben die Rohre hier eine Temperatur von ca. 1600° C angenommen, so werden sie in ein dicht vor der Ausbringetür stehendes Walzwerk geschoben, dessen rollenförmige Walzen von ca. 500 mm Durchmesser mit einer halbkreisförmigen Rille am Umfang versehen sind. Ober- und Unterwalze umschließen so zusammen ein ziemlich kreisrundes Kaliber von einem dem zu fertigenden Rohre entsprechenden Durchmesser. Um den zum Verschweißen der übereinanderliegenden Blechränder notwendigen Walzdruck zu erhalten, wird in das Rohr ein birnenförmiger, an einer langen Eisenstange angeschraubter Hartgußstopfen bis an die Berührungsstelle von Ober- und Unterwalze geschoben, dessen Durchmesser dem lichten Durchmesser der fertigen Rohre entspricht. Die Walzen treiben nun den vorgerollten Blechstreifen zwischen sich und den innenliegenden Dorn mit sehr großer Geschwindigkeit hindurch und pressen, da der Raum zwischen dem Dorn und den Walzen etwas kleiner ist als der von der Blechstärke ausgefüllte Raum, die übereinanderliegenden Blechränder fest aufeinander, die dadurch miteinander verschweißen. Die Gesamtwandstärke wird hierbei etwas geringer und das Rohr dementsprechend gestreckt. Für Qualitätsrohre, deren Schweißung unter allen Umständen einwandfrei sein muß, wird dieser Walzvorgang unter Umständen nach jedesmaliger erneuter Anwärmung des Rohres noch ein- oder mehrere Male wiederholt, wobei evtl. zur Vergrößerung des Walzdrucks ein jedesmal etwas stärkerer Stopfen verwendet wird. Nach der Fertigwalzung erhalten die überlapptgeschweißten Rohre zur genauen Kalibrierung analog den stumpfgeschweißten Rohren noch einen Kratzzug auf der Warmziehbank oder auch Kaltzüge auf Rohrkaltziehbänken.

In den letzten Jahren ist in Deutschland, wie in Europa überhaupt, die Erzeugung der überlapptgeschweißten Rohre wesentlich zugunsten der Herstellung nahtloser Rohre zurückgegangen. Die Fabrikation hat demzufolge heute für Deutschland keine wesentliche Bedeutung mehr.

c) Koks- und Wassergasgeschweißte Rohre.

Die seit 1850 in Deutschland ausgeführte Fabrikation überlappt geschweißter Rohre mit Hilfe des Walzwerkes hat nach größeren Rohrdurchmessern zu eine obere Grenze sowohl in wirtschaftlicher als auch in praktischer Hinsicht und zwar bei Durchmessern von ca. 250 bis 350 mm an aufwärts. Bei diesem Verfahren bedeutet die erforderliche Erhitzung des gesamten Rohrumfangs auf Schweißhitze für größere Rohrdurchmesser einen prozentual zur notwendigen Größe der Schweißstelle vergeuderischen Wärmebedarf, zu dem noch der infolge der Rohrgröße sehr wenig ausgenutzte Ofenraum und damit verbunden die längere Anwärm- und Beschickungszeit hinzukommt. Außerdem würde zur Verschweißung der für größere Rohre aus Festigkeitsgründen erforderlichen größeren Wandstärke der Kraftbedarf stark steigen und demzufolge schwerere Walzwerke erfordern.

Aus diesen Gründen ging man für größere Rohrdurchmesser dazu über, die Schlitzrohre auf kaltem Wege aus Blechen in Blechbiegemaschinen herzustellen und die Naht durch örtliches Erhitzen auf Schweißhitze zu bringen und mechanisch durch Hämmern oder durch maschinell betriebene Druck- und Schlagwerkzeuge zu bearbeiten und zu verschweißen.

Das älteste, heute kaum noch angewandte Verfahren der Teilerwärmung der Blechkanten bestand in der Verwendung des offenen Koksfeuers, das sowohl feststehend als auch in jeder Richtung beweglich angeordnet wurde. Bei der gebräuchlichsten Ausführung befand sich das Koksfeuer im Hüttenflur und das Rohr lag auf Rollen mit der Schweißnaht direkt über dem Feuer, sodaß ein Teil der Naht von außen auf Schweißhitze gebracht werden konnte. Nach Erreichung der erforderlichen Temperatur wurde das Rohr auf den Rollen um 180° um seine Achse gedreht, sodaß die angewärmte Naht nach oben kam. Nun wurde ein Amboß in das Rohrinnere direkt unter die zu verschweißende Stelle geschoben, worauf eine Nahtlänge von ca. 200 mm durch Bearbeitung mit Hand- und Schmiedehämmern verschweißt wurde. Hierauf wurde das Rohr um 180° zurückgedreht und die anschließende Nahtstelle über dem Koksfeuer erhitzt, usw. Infolge der primitiven Art dieses Schweißprozesses kann die Gleichmäßigkeit der Naht nicht garantiert werden, besonders da die Schweißstellen durch den Luftsauerstoff ziemlich stark oxydieren und durch die nicht zu vermeidenden Bestandteile des Kokses an Schwefel noch verunreinigt werden. Für dickwandige Rohre kommt noch der durch die hierbei nur einseitig erfolgende Erhitzung bedingte Nachteil der ungleichen Wärmeverteilung durch den Wandquerschnitt hinzu.

Diese Nachteile der Koksschweißung wurden gegen Ende des 19. Jahrhunderts mit dem Uebergang zu dem Verfahren der Wassergasschweißung mit einem Schlage ausgemerzt. Die Wassergasdarstellung selbst geht auf die Erfindung des Italieners Felize Fontane in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts zurück. Bis zur durchschlagenden, praktischen Verwertbarkeit verging jedoch noch ein Jahrhundert, in dem an der Entwicklung der Herstellung und seiner Verwendung für Beleuchtungszwecke und für heiztechnische, hüttenmännische Zwecke gearbeitet wurde. Erst in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts faßte die Verwendung des Wassergases für hüttenmännische Zwecke zunächst in England und kurz darauf auch in Deutschland Fuß. Als erste deutsche Unternehmen führten die Firmen Schulz, Knaudt & Co in Essen und Julius Pintsch in Fürstenwalde die Verwendung von Wassergas zu Schweißzwecken, beispielsweise zur Herstellung von geschmiedeten Dampfkessel-Wellrohren (System Fox) und zum Schweißen von vielerlei Gegenständen aus starken Blechen ein. Das Verfahren ist zwar wegen der teueren, aber hierzu erforderlichen Anlagen (Generatoren, Gasbehälter usw.) auf wenige Werke beschränkt geblieben, die es jedoch heute noch mit recht gutem Erfolge ausüben.

Man erhält das Wassergas durch Hindurchblasen von Wasserdampf durch schachtartige, mit glühenden Kohlen gefüllte Behälter, wobei ein mehr oder minder kohlenoxydreiches Wasserstoffgemisch von etwa 2600 WE pro Kubikmeter von nachstehender durchschnittlicher Zusammensetzung entsteht.

H_2	ca. 49	%
CO	ca. 39	%
CO_2	ca. 5	%
CH_4	ca. 0,7	%
N_2	ca. 6,3	%
	Sa. 100,0	%

Das Wassergas wird zum Schweißen in Brennern mit Luft gemischt. Die Brenner werden in der Regel gleichzeitig an beiden Seiten der Schweißnaht angesetzt, wodurch die Anwärmzeit gegenüber der Koksgasschweißung wesentlich verkürzt und die Anwärmung gleichmäßiger wird. Die Flamme kann nach Belieben oxydierend oder reduzierend eingestellt werden, sodaß bei reduzierender Einstellung, also bei Wassergasüberschuß, jede Oxydation während der Erhitzungsperiode trotz der hohen Schweißtemperatur vermieden und sogar der auf den Blechen von vorneherein vorhandene Glühzunder beseitigt wird. Die zur Verschweißung gelangenden Blechteile kommen demnach in sauberem, reinem Zustande zur Verschweißung, wodurch eine gleichmäßige, gute Schweißnaht gewährleistet ist. Aus diesem Grunde wird die Festigkeit der wassergasgeschweißten Naht mit 90 bis 100 % der Materialfestigkeit bei der Berechnung der auf diese Weise hergestellten Apparate eingesetzt und amtlich anerkannt. Im allgemeinen werden die Brenner so angeordnet, daß bei obenliegender Naht ein Brenner im Rohrinneren untergebracht wird und von unten nach oben bläst, während der zweite Brenner von außen, also von oben nach unten gegen die zu verschweißende Stelle arbeitet; das Rohr wird dabei langsam vorwärts bewegt, wobei die schweißwarmen Nahtstellen direkt nach dem Passieren der Brenner maschinell durch Hämmern oder durch Preßdruck mit Druckrollen gegen den im Rohrinnern wie beim Koksgasschweißverfahren in der Naht entlang gleitenden Amboß zusammengeschweißt werden. Im allgemeinen werden bei Blechstärken bis zu 20 mm die Blechkannten zum Verschweißen übereinander gelegt — Ueberlappungsschweißung —, während bei größerer Blechstärke ein Spalt zwischen den Blechkanten freigelassen wird, in den ein Rundeisen oder Draht oder ein passendes Eisenprofil eingeschweißt wird, wobei dann besonders kräftige Bearbeitungsmittel erforderlich sind. Als Material eignet sich im allgemeinen jedes schweißbare Material aus Puddelstahl und Flußstahl, wobei für Flußstahl in der Regel die Schweißbarkeit umso besser liegt, je geringer der Kohlenstoffgehalt ist. Unter normalen Verhältnissen gilt 0,2 % C als obere Grenze. Der Mangangehalt kann 0,4—0,8 % betragen, während der Siliziumgehalt möglichst niedrig (etwa 0,05—0,3 %) sein soll. Der Gehalt an Phosphor, das an sich die Schweißbarkeit begünstigt, soll wegen der durch die bei größeren Prozentgehalten hervorgerufenen Kaltsprödigkeit möglichst gering, etwa bei 0,02—0,05 % gehalten werden. Ebenso darf der Schwefelgehalt 0,05 %, wegen der sonst auftretenden Gefahr von Rotbruch, nicht übersteigen und die übrigen Legierungsbestandteile wie Chrom, Wolfram, Aluminium, Arsen, Zinn und Antimon sollen höchstens bis zu maximal 0,1 % vorhanden sein.

Nach dem Schweißen müssen die Rohre zur Aufhebung der beim Einrollen und der örtlichen Erhitzung entstandenen Spannungen und zur Gefügeverbesserung des Materials sachgemäß in der ganzen Länge über den Umwandlungspunkt ausgeglüht werden. Bei sorgfältiger Ueberwachung der Herstellung und bei Verwendung einwandfreien Materials ergibt die Wassergasschweißung einwandfreie Rohre, die an die Qualität der nahtlosen Rohre heranreichen.

d) Spiralgeschweißte Rohre.

Parallel zur Entwicklung der Rohrherstellung vermittelst Zusammenschweißen von Blechstreifen durch eine zur Rohrachse gleichgerichtete Längsnaht vollzog sich der Auf- und Ausbau von Verfahren für spiralgeschweißte Rohre. Bereits im Mittelalter wurden schweißwarme Blechstreifen in spiralförmigen Windungen um Rundstäbe gewickelt und die sich berührenden Ränder durch Hämmern zusammengeschweißt. In der Gewehrindustrie wurden in der ersten Hälfte und in der Mitte des 19. Jahrhunderts in den Waffenstädten

Suhl (Thüringer Wald) und Zella St. Blasii Rohre für Flinten aus spiralförmig aufgewundenen Bändern aus Schweißeisen, die im Holzkohlenfeuer erhitzt und durch schnellschlagende Schwanzhämmer verschweißt wurden, hergestellt. Die Entwicklung und Vervollkommnung der Zieh- und Walzverfahren für Längsnahtrohre hatte dann die Fabrikation spiralgeschweißter Rohre überflügelt. Das Verfahren erschien nun gegenüber der Längsnahtschweißmethode unrentabel und wurde längere Zeit nicht weiter verfolgt, bis sich durch auftretende schlechte Ausführungen und Fehler in der Längsschweißnaht, wodurch öfter vorzeitiges Aufreißen und Platzen der druckführenden Rohre eintrat, ein gewisses Mißtrauen gegen Rohre mit Längsschweißung einstellte. Die Erwägung, daß die Wandung eines Rohres mit inneren Druckkräften in tangentialer Richtung, d. h. quer zur Rohrachse, wesentlich stärker beansprucht wird als in der Längsrichtung, einerseits und das aufkommende Mißtrauen gegen die Verwendung von längsgeschweißten Druckrohren andererseits gaben den Rohrherstellern den Anreiz, das in Vergessenheit geratene Spiralschweißverfahren erneut aufzugreifen und technisch zu vervollkommnen. Der Amerikaner Harvey Klapp Flagler in Boston konstruierte als einer der ersten eine Spiral-Rohrschweißmaschine. Er erhielt am 22. Juli 1877 das deutsche Reichspatent Nr. 50 für die „Kombination eines Schweißofens und Schweißapparates mit einer Maschine zur Erzeugung von Metallröhren mit spiralförmiger Naht". Gleichzeitig mit Flagler baute dessen Landsmann Root eine Maschine für die Spiralschweißung. Das Verfahren setzte sich unter Zuhilfenahme der Rootschen Maschine jedoch erst durch, nachdem es die amerikanische Gesellschaft, „The Spiral Weld tube Company" in East Orange bei New York in den Jahren 1886 und 1887 aufnahm. In ihrer Spiralschweißmaschine wurden die Blechstreifen spiralförmig so gewickelt, daß sich die Längskanten übereinanderlegten. Auf die zu verschweißenden Kantenstellen wirkten darauf zwei durch feuerfeste Oeffnungen eines angebauten Ofens schlagende Stichflammen bis zur Erreichung der Schweißtemperatur ein. Hierauf wurde der Streifen maschinell stückweise vorwärts gedreht, wobei er die Lücke zwischen einem Schnellhammer und einem kleinen Amboß passierte. Der schnellschlagende Hammer verschweißte die Spiralnaht.

In Deutschland wurde das Spiralschweißverfahren im Jahre 1892 von dem bekannten Großindustriellen dem Geh. Baurat Ehrhardt in dessen rheinischer Metallwaaren- und Maschinenfabrik eingeführt. Ehrhardt verbesserte die Maschinenkonstruktion und führte die Schweißung zunächst unter Benutzung von Leuchtgas aus. Als sich damit Schwierigkeiten ergaben, stellte er das Verfahren auf Wassergasschweißung um. In der Hauptsache wurden Rohre im Durchmesser von 157 bis 622 mm aus Blechstreifen von gut schweißbarem Schweiß- oder Flußstahl von nicht über 40 kg/mm² Festigkeit hergestellt.

Außer Ehrhardt brachten in Deutschland Julius Wüstenhöfer, Carl Kratz, Julius Straßmann und Eduard Zimmermann neue Gedanken und Vorschläge zur Spiralschweißung von Rohren. Kratz und Straßmann schlugen beispielsweise vor, das Bandeisen ganz auf Schweißhitze zu bringen und es zwischen einer langsam rotierenden Scheibe und einer als Dorn dienenden, gekühlten Achse spiralig aufzuwickeln und dabei das entstehende Rohr durch Walzen zu verschweißen.

Obgleich das Verfahren immer einfacher und wirtschaftlicher gestaltet wurde und man schließlich sogar Wellrohre für Flammrohrkessel in einem Arbeitsgange damit herzustellen in der Lage war, konnte es sich dennoch auf die Dauer ihren bereits vorhandenen Konkurrenzverfahren gegenüber und der in diesen Jahren aufkommenden nahtlosen Rohrfabrikation nicht durchsetzen. Das nahtlose Rohr war prädestiniert für alle Zwecke, die das spiralgeschweißte Rohr erfüllen sollte als Qualitäts- und Druckrohr. Außerdem erlangte die Fabrikation der Rohre mit Längsnaht eine derartige Vollkommen-

heit bezüglich der Nahtfestigkeit durch Verwendung besseren Materials und Anwendung einwandfreier Schweißmethoden, daß sie und unter ihnen in erster Linie die patentgeschweißten Rohre bezüglich des Widerstandes gegen inneren Druck den spiralgeschweißten Rohren ebenbürtig und bezüglich der Wirtschaftlichkeit der Herstellung sogar überlegen wurden. (Die Naht eines spiralgeschweißten Rohres ist ca. dreimal so lang, wie die eines stumpf- oder überlapptgeschweißten Rohres derselben Abmessung.)

Das Verfahren ist daher auch bereits viele Jahre vor dem Kriege nicht mehr weiter entwickelt worden und hat in Deutschland für die Röhrenherstellung heute keinerlei Bedeutung mehr.

e) Geschweißte Rohre mittels Acetylen-Schweißung.

Die Herstellungskosten und - - wenn auch in geringerem Maße - die Herstellungsschwierigkeiten bei der Fabrikation nahtloser Rohre kleinster Abmessungen unter 2,5 mm Wandstärke einerseits und der steigende Bedarf für Rohre derartiger Abmessungen (dünnwandige Präzisionsrohre) für die elektrische Industrie als Schutzrohr für elektrische Leitungen, für die Eisenmöbelindustrie, für den Fahrrad-, Flugzeug- und Automobilbau andererseits, haben der Fabrikation autogen geschweißter Rohre in den letzten Jahren einen starken Aufschwung gegeben.

Das autogene Schweißverfahren ist erst im ersten Jahrzehnt des zwanzigsten Jahrhunderts entwickelt worden, nachdem im Jahre 1891 Boehm das erste Patent auf Karbiderzeugung aus Kalk und Kohle im elektrischen Ofen als Ausgangsstoff für Acetylen (ein Kohlenwasserstoffgas von zwei Teilen Wasserstoff und zwei Teilen Kohlenstoff [C_2H_2]) erhalten hatte und kurz darauf der durch die Luftverflüssung nach Linde vom Luftstickstoff getrennte Sauerstoff in Stahlflaschen verdichtet auf den Markt gebracht wurde. Die Vereinigung beider Gase oder auch die Vereinigung von Sauerstoff mit Leuchtgas, Wasserstoff etc. in geeigneten Brennern der erste zum Schweißen brauchbare Brenner wurde um 1900 in England konstruiert — ergibt so hohe Verbrennungstemperaturen (mit Acetylen die höchsten, nämlich ca. 3500° C), daß damit Eisen und Stahl örtlich zum Schmelzen und mit oder ohne Zusatz von fremdem geeigneten Werkstoff zum Verschweißen gebracht werden kann. Das Verfahren wird heute nach dem Vorschlag des Fachausschusses für Schweißtechnik „Gasschmelzschweißung" genannt.

Als Ausgangsmaterial für die Gasschmelzschweißung von Rohren kommt wieder ein warmgewalztes, nicht kalibriertes Bandeisen in weicher Qualität in Frage, das seiner Zusammensetzung nach eine sichere autogene Schweißung zuläßt. Das Bandeisen wird zunächst entweder auf den bereits besprochenen Schlitzrohrziehbänken oder auf Rohrroll- oder Rohrwalzmaschinen zu Schlitzrohren vorgearbeitet. In den Rohrrollmaschinen läuft das Bandeisen von Haspeln durch entsprechend ausgebildete Rollenpaare, die das Bandeisen in kaltem Zustand zu den sogenannten Schlitzrohren vorbiegen. Das fertige Schlitzrohr stößt hinter den Rollen gegen einen auf beliebigen Abstand verstellbaren Anschlag, der die Maschine stillsetzt und eine Pendelsäge in Bewegung bringt, die das Rohr abschneidet. Die Rohrrollenmaschine wird ihrer größeren Leistungsfähigkeit halber (je nach Rohrgröße können 1000 bis 7000 m Rohr in 8 Stunden hergestellt werden) bis herunter zu Rohrdurchmessern von ca. 15 mm den Ziehbänken vorgezogen, während für Rohre unter 15 mm Durchmesser aus Gründen besserer Maßhaltigkeit fast nur die Schlitzrohrziehbank, die zur besseren Ausnutzung des Kraftverbrauchs (15 % geringer) vorteilhaft als Doppelziehbank ausgeführt wird, zur Anwendung kommt. Die fertigen Schlitzrohre werden nun auf den Rohrschweißmaschinen, die sie durch besonders angeordnete und ausgestattete Rollenpaare einem Sauerstoff-Acetylenbrenner zuführen, der den Rohrschlitz ohne

Zusetzung von Schweißmaterial, also lediglich durch ein Zusammenfließen der beiden Schlitzkanten des Rohres zuschweißt. Die Geschwindigkeit der Führungsrollen ist zur Anpassung der verschiedenen Wandstärken an die Schweißleistung regelbar. In die obere Rolle des ersten Rollenpaares ist meistens ein Trennmesser eingearbeitet, das im Schlitz des Schlitzrohres läuft und dadurch ein Verdrehen des Rohres verhindert und den Schlitz genau unter den Schweißbrenner dirigiert. Außerdem dient das Trennmesser zur Beibehaltung eines gleichmäßigen Abstandes der beiden Blechkanten und garantiert dadurch eine gleichmäßige Verschweißung. Direkt unterhalb des Schweißbrenners befinden sich noch zwei wagerechte Druckrollen, die die Schweißnaht zusammenpressen. Das Schweißen selbst erfolgt automatisch durch einen in bestimmtem Abstand über dem Schlitz angeordneten wassergekühlten Schweißbrenner vermittelst Sauerstoff und Acetylen. Hinter dem Brenner fördert ein weiteres, angetriebenes Rollenpaar das Rohr weiter, sodaß auch die Rohrenden, wenn sie das erste Rollenpaar bereits passiert haben, noch bis hinter den Schweißbrenner befördert und dadurch noch geschweißt werden. Zur gleichmäßigen Abkühlung und zum Geraderichten wird das Rohr hierauf noch durch ein Richtrohr geführt. Da eine konstante Geschwindigkeit zum guten Gelingen der Schweißung Voraussetzung ist, werden die Rohrschweißmaschinen vorteilhaft durch Einzelantrieb direkt angetrieben, da schon geringer Riemenschlupf, wie er bei Transmissionsantrieb unvermeidlich ist, bei dünnwandigen Rohren das Einbrennen von Löchern in die Naht verursachen kann. Nach Beendigung des Schweißprozesses ist das Rohr noch nicht fertig. Es muß noch ausgeglüht, durch Beizen vom Glühzunder befreit, dann auf Kaltziehbänken nachgezogen und je nach dem Verwendungszweck erneut nachgeglüht werden. Das Verfahren erfordert bezüglich der verschiedenen Nachbehandlungen und besonders auch in der Auswahl des Materials sorgfältigste Ueberwachung. Als gut schweißbares Material eignet sich sowohl ein Thomasstahl mit niedrigem Kohlenstoffgehalt von ca. 0,04—0,05 % als auch ein S. M.-Stahl mit ca. 0,1—0,15 % C von ca. 35—40 kg/mm² Festigkeit bei ca. 20 % Dehnung. Material mit höherem C-Gehalt ist wegen der dann beginnenden Abnahme der Schweißbarkeit weniger gut für dieses Verfahren geeignet.

Das Mischungsverhältnis M von Sauerstoff zu Acetylen im Brenner ist für die Güte der Schweißnaht recht wesentlich. Die Verbrennung soll eine vollkommene sein, da unverbrannte Teile der Gase die Schweißzone schädigen können. Das Heizgas und der Sauerstoff müssen in einem ganz bestimmten Verhältnis zueinander stehen und entsprechend im Brenner gemischt werden. Neue Untersuchungen[15]) ergaben, daß ein Sauerstoffüberschuß bis zum Verhältnis $M = \frac{S}{A} = 1{,}0$ bis 2,08 bei dünnwandigen Rohren und von $M = \frac{S}{A} = 1{,}0$ bis 1,4 bei Rohren über 2 mm Wandstärke die Schweißleistung (m/Stunde) der maschinell geschweißten Rohre mit steigendem Sauerstoff-Gehalt steigert, (50 60 m/h Schweißleistung bei Rohren von 0,75—1,5 mm Wandstärke, ca. 20—25 m bei Rohren von 2,0—2,5 mm Wandstärke), ohne daß die Güte der Schweißnaht leidet. (Bei Handschweißungen erreicht $\frac{S}{A}$ bei 1,0—1,4 bereits ein Maximum für die Schweißgeschwindigkeit, weil hierbei viele Oxydteilchen bis ins Innere der Schweißnaht wirbeln und den Wärmeübergang hemmen. Beim Maschinenschweißen hingegen findet durch die gleichmäßig ruhige Haltung des Schweißbrenners die Oxydation nur an der Oberfläche statt; außerdem wird die Oxydation der Menge nach durch die erhöhte Schweißgeschwindigkeit beim Maschinenschweißen verkleinert.) Hiergegen ist jeder Acetylenüberschuß infolge der hierdurch begünstigten Kohlenstoffanreicherung in der Schweiße

[15]) Vgl.: Kayser: Die Herstellung geschw. Rohre mittels der Acetylenschweißung. Aachen 1929.

für die Güte der fertigen Rohre schädlich. Der einmal in die Schweiße hineindiffundierte Kohlenstoff ist durch keine Nachbehandlung mehr auszutreiben und verursacht infolge der bei diesem Verfahren vorliegenden Abkühlungsverhältnisse eine starke Zähigkeitsabnahme und Härtesteigerung der Schweißnaht, die auch durch Nachglühen nur wenig verbessert wird. Infolgedessen lassen sich mit Acetylenüberschuß geschweißte Rohre nur schlecht durch Kaltziehen weiterverarbeiten und verursachen große Ausfälle durch Aufplatzen der Naht beim Weiterverarbeiten. Der Sauerstoff soll möglichst 99 % ig sein und wird aus Gründen gleichmäßigen Druckes vorteilhaft aus Flaschen entnommen. Das Acetylen kann sowohl Entwicklungsacetylen als auch gelöstes Acetylen (Dissousgas) sein. Beide Sorten ergeben gleiche Schweißleistungen und gleiche Nahtgüte.

Nach der Schweißung ist eine Wärmebehandlung vor dem Weiterziehen unbedingt erforderlich, und zwar genügt bei den hier verarbeiteten untereutektoiden Stählen eine Glühung bei 730—750° C, d. h. eine Glühung dicht oberhalb der Perlitlinie bzw. des Ac_1-Punktes zur Erreichung eines Gefüges mit körnigem Perlit, um die Rohre in einen wünschenswerten, weichen, spannungsfreien Zustand zu bringen.

Damit die Rohre auf ihrer ganzen Länge den gleichen Gefügezustand erhalten, ist bei der Glühung auf die Einhaltung vollkommen gleichmäßiger Temperaturen im Glühofen zu achten. Ungleiche Temperaturen können zu verschiedener Härte und zu stellenweiser Sprödigkeit der Rohre führen, wodurch sich bei der Weiterverarbeitung die Ziehwerkzeuge rascher verbrauchen und größerer Produktionsausschuß entstehen kann. Im wirtschaftlichen und qualitativen Interesse liegt es gleicherweise, die Glühung nur solange durchzuführen, bis alle Rohre die vorgeschriebene Temperatur angenommen haben. Aus diesem Grunde lohnt sich auf jeden Fall der Einbau sicherer Meßinstrumente, in der Regel Thermoelemente aus Nickel-Nickelchromlegierungen oder aus Platin-Platinrhodium, die, an mehreren Stellen gleichmäßig über die Ofenlänge verteilt, bis dicht über das Glühgut reichen. Die Ausschläge dieser Elemente werden vorteilhaft durch Mehrfachschreiber (Multithermographen) fortlaufend registriert. Erst hierdurch wird eine rationelle und qualitativ einwandfreie Glühung gewährleistet. Die Glühöfen werden heute in der Regel als mit Halbgas gefeuerte Rekuperativ-Muffelöfen ausgebildet. Aber auch ältere Ausführungen, in denen das Glühgut den offenen Flammen direkt ausgesetzt wird, sind bei reduzierend eingestellter Flammenwirkung mit gutem Erfolg in Betrieb. Nach Erreichung der geforderten Glühtemperatur werden die Rohre durch eine mechanische Chargiervorrichtung aus dem Ofen gezogen. Nach ihrer an der Luft erfolgten Abkühlung kommen sie in die Beizerei, wo sie in Schwefelsäure- oder Salzsäurebädern vom Glühzunder befreit, in Wasserbädern entsäuert und in Kalkmilchbädern neutralisiert werden. Hierauf werden sie meist noch auf Rohrkaltziehbänken auf bestimmte Dimensionen kalt nachgezogen, sodaß sie von nahtlos gezogenen Rohren äußerlich nicht mehr zu unterscheiden sind. Der Vorgang des Kaltziehens ist derselbe wie bei nahtlosen Rohren und wird weiter unten im Abschnitt „Kaltziehen von Rohren" näher erläutert.

f) Elektrische Rohrschweißung.

Die Heranziehung des elektrischen Stromes als direkten Mittels zur Rohrfabrikation für dünnwandige Rohre nimmt im Zeitalter der Elektrizität nicht Wunder. Die Anfänge der elektrischen Schweißverfahren reichen bis etwa 1865 zurück, aber erst zwischen 1880 und 1890 wurden zwei brauchbare Verfahren, nämlich die elektrische Widerstandsschweißung und die elektrische Lichtbogenschweißung, entwickelt. Die Versuche in Richtung der Widerstandsschweißung wurden in England und Amerika gemacht. Der amerikanische Ingenieur

Professor Elihu Thomson nutzte erstmalig im Jahre 1886 die beim Durchschicken eines elektrischen Stromes durch einen dafür zu schwach bemessenen Leiter auftretende direkte Erwärmung aus, indem er die beiden Blechränder eines Schlitzrohres stumpf gegeneinander drückte und einen elektrischen Strom von hoher Stärke hindurchschickte. Hierdurch wurden die zusammenstoßenden Blechränder bis auf Schweißhitze gebracht und durch Zusammenpressen oder durch Hämmern verschweißt. Die elektrische Energie wird hierbei in der Hauptsache durch den Uebergangswiderstand der Blechränder an der Stoßstelle und in geringerem Maße auch durch deren inneren Widerstand in Wärme umgewandelt. Man hat es nun in der Hand, den elektrischen Strom so zu leiten, daß, ohne andere Teile der Umgebung zu erwärmen, die Erhitzung nur an der zu verschweißenden Stelle erfolgt, wodurch diese Schweißmethode bezüglich der Energieausnutzung und damit wirtschaftlich der Feuerschweißung überlegen ist. Wegen der an sich erforderlichen erheblichen Stromstärke und niedrigen Spannung kommt aus Gründen der leichteren Transformierungsfähigkeit für dieses Verfahren nur Wechselstrom in Betracht.

Zur Erhöhung der Leistung beim Rohrschweißen ordnete man später mehrere Elektrodenrollen an, die entweder durch einen im Rohr liegenden Dorn, durch das Rohr selbst oder durch Druckrollen kurzgeschlossen werden. Die Elektrodenrollen schweißen entweder nach dem Schrittverfahren oder, wenn das Rohr gleichmäßig an ihnen vorbeirollt, mit abwechselnd eingeschaltetem und unterbrochenem Strom.

Aehnlich der Rohrherstellung bei der Gasschmelzschweißung hat man auch bei der elektrischen Widerstandsschweißung die Schlitzrohrstellung und Verschweißung so kombiniert, daß die Rohre direkt aus Blechstreifen in einem Arbeitsgang fertiggestellt werden. Das sich von Rollen abwickelnde Bandeisen wird durch Formwalzen zu einem Schlitzrohr in bekannter Weise kalt vorgebogen. Dicht hinter der letzten Formwalze ist die elektrische Schweißvorrichtung angeordnet. Das Schlitzrohr wird mit obenliegendem Schlitz durch Profilbacken gepreßt, die den Schlitz zusammendrücken. Auf dem Schlitz dreht sich die Elektrodenrolle. Die Profilbacken umfassen das Rohr auf einer größeren Länge und radial bis zur Schweißstelle, sodaß praktisch nur die Schweißstelle selbst erwärmt und damit Strom gespart wird. Der zusammengepreßte Rohrschlitz wird zweckmäßigerweise nach erfolgter Verschweißung durch die Profilbacken noch ein kurzes Stück zusammengepreßt gehalten. Zur Vermeidung des „Festfressens" bei der Hindurchgleitung des Rohres werden die Profilbacken aus härterem Material hergestellt; außerdem erhalten sie ebenso wie die Elektrodenrollen zur Wärmeabfuhr eine zweckentsprechende Wasserinnenkühlung. An Stelle der Formwalzen ist auch eine Kombination von Rohrziehbank und Widerstandsschweißmaschine ausgeführt worden, wobei der Ziehring, durch den das Bandeisen zm Schlitzrohr geformt wird, als Stromzuführungselektrode und ein isoliert durch den Ziehring geführter Leiter als Schweißelektrode dient.

Außer den bereits erwähnten Vorteilen der elektrischen Widerstandsschweißung hat das Verfahren noch vor dem Verfahren der Feuer- oder Gasschmelzschweißung den Vorzug, daß die Schweißung im Entstehen dauernd gut kontrolliert werden und von ungelernten Arbeitskräften ausgeführt werden kann und trotzdem keine Gefahr des Ausschusses durch Ueberhitzen des Werkstoffes besteht. Daß diese Maschinenanlagen jederzeit betriebsbereit sind, keine Betriebskosten beim Stillstand bedingen, und die Luft nicht durch giftige Kohlenoxydgase verschlechtern, sind weitere Annehmlichkeiten, die diesem Verfahren eine Zukunft versprechen.

Im Gegensatz zur direkten Erwärmung mittels des elektrischen Stromdurchflusses benutzte der russische Bergingenieur Benardos im

Jahre 1881 den elektrischen Licht- oder Flammbogen zum Schweißen. Ein Lichtbogen entsteht z. B. dann, wenn ein Kohlestab als der eine Pol bei bestimmter Spannung in einem ganz bestimmten Abstand zu einem zu verschweißenden Werkstück, an das der andere Pol angeschlossen ist, gebracht wird. Die Temperatur des Flammenbogens liegt zwischen 2—4000° C. Wird der elektrische Flammenbogen zwischen den Kohlepol und die Blechränder eines Schlitzrohres gelegt, so schmelzen die Ränder ziemlich schnell zusammen, ohne wesentliche Erwärmung ihrer Umgebung. Die Durchführung dieses Verfahrens begegnete in der Praxis erheblichen Schwierigkeiten, weil wegen des Abbrandes der Kohlen die richtige Stromregulierung nur schwer zu halten war und außerdem der Kohlenstoff der Polkohle in die Schweißzone hineinbrannte. Hierdurch wurde das Material der Naht stark aufgekohlt und durch die verhältnismäßig schroffe Abkühlung nach dem Schweißprozeß gehärtet und spröde. Im Laufe der Zeit sind natürlich auch hier die verschiedensten Verbesserungen versucht worden, z. B. von Coffin, Zerener, Slavianoff und anderen, die im allgemeinen in der Richtung liefen, den Flammenbogen nicht mehr direkt zwischen Werkstück und Kohlestab zu erzeugen, sondern zwischen zwei Kohlepolen (Zerener-Verfahren) oder zwischen zwei Metallpolen (Slavianoff-Verfahren) und diesen Flammenbogen durch einen Elektromagneten („Blasmagneten") auf die Schweißstelle zu blasen.

Die in neuester Zeit ausgebildeten Verfahren der elektrischen Rohrfabrikation durch Lichtbogenschweißung verwenden als Elektrode eine drehbare Scheibe aus nicht oxydierbarem, schlecht wärmeleitenden Material, z. B. Siliziumkarbid. Die Scheibe steht mit ihrer ballig ausgebildeten Umgangsfläche der Schlitzrohrnaht gegenüber und wird in eine solche Umdrehung gesetzt, daß sie eine für die Aufrechterhaltung des Lichtbogens notwendige Temperatur auf ihrem Umfang aufnimmt. Dadurch wird erreicht, daß der Lichtbogen auch dann nicht abreißt, wenn die Elektrode Kathode ist. Hierdurch ist es erst möglich geworden, als Stromart auch Wechselstrom zu verwenden. Natürlich muß die Drehzahl der Elektrode so abgestimmt und die Masse der Elektrode so bemessen sein, daß die Temperatur auch nicht so hoch werden kann, daß ein Schmelzen der Elektrode zu befürchten ist.

Eine dritte Methode der elektrischen Rohrschweißung will die Induktion genügend starker Ströme im Werkstück selbst verwenden. Die erforderliche Schweißhitze wird hierbei durch die gleichzeitige Wirkung zweier Erscheinungen erzeugt, nämlich durch die Hysterese-Erhitzung an der Schweißstelle und durch die Widerstandserwärmung, die durch Hochfrequenz-Induktionsströme hervorgebracht wird. Bis heute hat dieses Verfahren zwar noch keine praktische Bedeutung erlangt, aber die Vorteile, die damit zu erreichen sind, wie die vollkommene Reinheit der Schweißstelle, die Möglichkeit der Verschweißung jeden Rohrdurchmessers und das Fehlen jeglicher, durch Bewegung sich abnutzender Werkzeugteile, lassen erwarten, daß es sich in Zukunft einbürgern wird.

Während die elektrischen Rohrschweißverfahren in Deutschland bisher kaum eine Rolle bezüglich der Produktionsmenge gespielt haben, sollen in den Vereinigten Staaten bereits mehrere hunderttausend Tonnen Rohre nach diesen Methoden zur Zufriedenheit hergestellt worden sein [16]). Die Entwicklungsmöglichkeiten in Deutschland dürften letzten Endes eng mit der Höhe der Stromkosten und dem weiteren Ausbau der Elektrifizierung in Verbindung mit billigen Wasserkräften zusammenhängen.

[16]) Vgl. „Die Röhrenindustrie", Berlin, 22. Jhgg., Nr. 19.

B. Nahtlose Stahlrohre.

a) Walzverfahren.

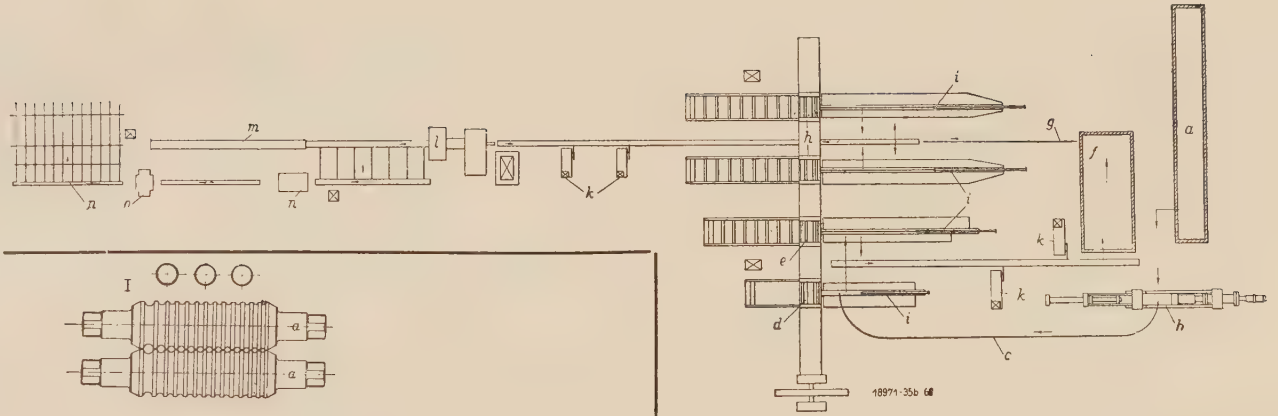
1. Duostopfenwalzwerk, schwedisches und automatisches Verfahren.

Die Anwendung von Walzen zur Rohrfabrikation erfolgte zum ersten Mal in England. James Russel aus Wednesbury und Richard Prosser aus Birmingham erhielten 1824 und 1840 Patente zur Glättung durch Handarbeit geschweißter Rohre und zur Verschweißung von Rohren mit Hilfe eines Duowalzwerks (Zweiwalzenwalzwerk). In Deutschland wurde das Walzen der Rohre ca. 10 Jahre später eingeführt und zunächst für überlapptgeschweißte Rohre neben dem bereits beschriebenen Ziehverfahren angewandt. Das Walzen geschweißter Rohre hatte gegenüber dem Ziehverfahren, das im allgemeinen nur bis zu Durchmessern von 4" zu gebrauchen war, den Vorteil der Möglichkeit der Ausdehnung der Rohrfabrikation bis zu den größten Rohrdurchmessern. Das Walzwerk selbst bestand in der Regel aus einer verstellbaren Oberwalze und einer sich im gleichen Sinne drehenden feststehenden Unterwalze, in deren Umfang, den verlangten Rohrdurchmessern entsprechend, halbkreisförmige Nuten eingearbeitet waren. Die Walzen wurden aus Gründen der Geschwindigkeitsregulierung über Vorgelege angetrieben. Das zu verschweißende, vorgebogene Rohr wurde aus dem Schweißofen direkt zwischen die Walzen über einen zwischen dem Rundkaliber durch eine befestigte Dornstange gehaltenen Stopfen, dessen Außendurchmesser dem inneren Rohrdurchmesser entsprach, geschoben. Die Walzen beförderten das Rohr unter gleichzeitigem Verschweißen zwischen ihrem Kaliber über den Stopfen. In der Regel erhielt das Rohr unter jedesmaligem neuen Anwärmen 3 bis 4 Walzungen, wobei nach jeder Walzung der Stopfendurchmesser etwas größer gewählt wurde, um einen größeren Walzdruck und dadurch eine gute Durchschmiedung der Schweißnaht und eine gleichmäßige Wandstärke zu erhalten.

Die Entwicklung von Herstellungsverfahren für nahtlose Rohre in den Jahren 1880—1900 brachte dem Duo-Stopfenwalzwerk auch für dieses neue Gebiet große Anwendungsmöglichkeiten. Besonders als sich herausstellte, daß auch die neuen Verfahren, wie z. B. das Schrägwalzwerk, keine fertigen dünnwandigen Rohre direkt erzeugen konnten, wurde das Stopfenduo zur Auswalzung der dickwandigen nahtlosen Rohrluppen zu Rohren neben dem Pilgerwalzwerk bald eine notwendige Ergänzung. Als Folge der verhältnismäßig dicken Wandstärke der nahtlosen Rohrluppe gegenüber den aus Blechstreifen vorgerundeten überlappt geschweißten Rohren mußten aber viele Walzstiche durch verschieden weite Kaliber erfolgen, ehe die verlangte Wandstärke erreicht war. Diese Forderung führte aus Gründen der Platzersparnis, der geringeren Anlage- und Unterhaltungskosten zur konstruktiven Zusammenfassung einer Anzahl Kaliber nebeneinander auf einem Walzenpaar oder übereinander nach der Art von Triowalzwerken, in denen die Rohre auf dem Hin- und Rückwärtsgang gestreckt werden konnten. In der Praxis durchgesetzt haben sich besonders die Duowalzwerke, deren Arbeitswalzen mit einer Anzahl nebeneinanderliegender Kaliber versehen sind.

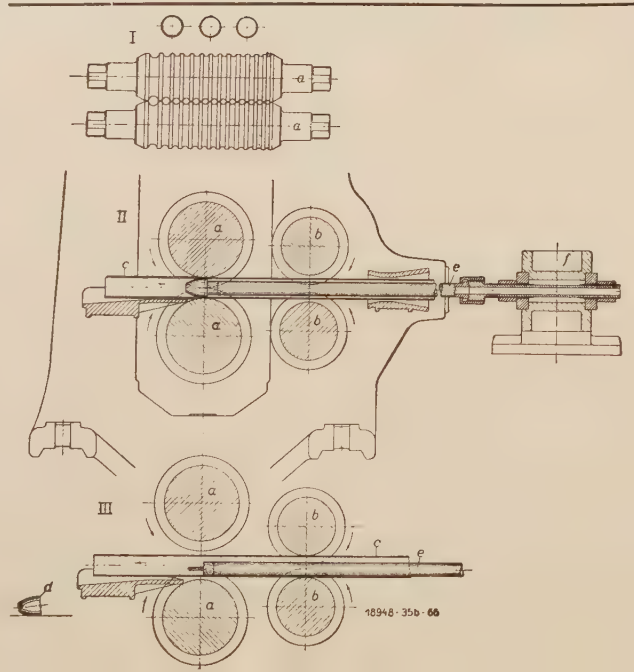
Besonders die Kombination des Lochverfahrens in hydraulischen Pressen mit den Duo-Stopfenwalzwerken hat sich um die Jahrhundertwende vielfach eingeführt und ist unter dem Namen „Schwedisches Rohrwalzverfahren" bekannt geworden. Dieses Verfahren gliedert sich in drei Teile:

Zunächst werden gegossene Vierkantblöcke nach dem Ehrhardt-Lochverfahren in einer hydraulischen Presse zu dickwandigen Rohrluppen gepreßt. Die Hohlstücke kommen darauf in der gleichen Hitze in das Vorwalzgerüst, in dem die Wandstärke unter Erhaltung



Oben: **Lageschema einer Schwedenstraße.**

a Blockofen; b horizontale Lochpresse; c Transporthängebahn; d Blockgerüst; e Vorgerüst; f Nachwärmofen; g Transporthängebahn; h Fertiggerüst; i Einstoßwagen; k Sägen; l Glättwalzwerk; m Stangenzieher; n Maßwalzwerk; o Richtmaschine; p Kühlbett.



Links: **Schema eines Duo-Rohrwalzwerkes.**

I Rohrquerschnitt vor und nach dem Durchgang durch ein Kaliber; II Walzvorgang; III Rückbeförderung des Rohres nach dem Stich; a Arbeitswalzen; b Rücklaufwalzen; c Rohr; d Stopfen; e Dornstange; f Gegenlager.

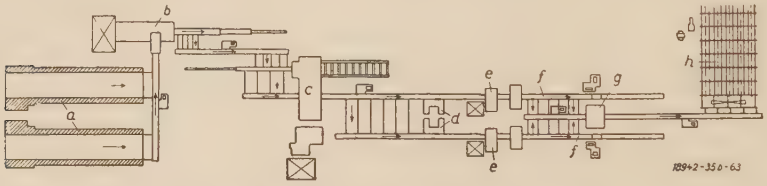
des lichten Durchmessers verringert wird, worauf im zweiten Walzgerüst sowohl der Durchmesser als auch die Wandstärke weiter verkleinert wird. Hierauf wird die Rohrluppe, wenn sie schwer genug ist, um mehrere Fertigrohre zu ergeben, durch Sägen in gleiche Stücke unterteilt. Nach neuerlicher Anwärmung erhalten diese Hohlstücke im dritten Teil des Verfahrens im Duo-Fertigwalzwerk in mehreren Stichen durch die nebeneinanderliegenden Kaliber ihre Fertigmaße. Bei neueren Anordnungen wird das fertige Rohr darauf noch zum Glätten der eventuell durch die Walzstopfen entstandenen Riefen durch ein Glättwalzwerk und zum Schluß zur genauen Maßkalibrierung durch ein Maßwalzwerk geschickt. Im Glättwalzwerk wird das Rohr an der Innen- und Außenseite bearbeitet, d. h. über einen zylinderdrischen an einem Walzdorn befestigten Stopfen mittels zweier schräggestellter zylindrischer oder leicht konoidaler Walzen unter gleichzeitiger Drehung gewalzt und damit von eventueller Walznaht oder Riefen befreit.

Die Arbeitswalzen der Duo-Rohrwalzenwerke besitzen, wie oben erwähnt, nebeneinander mehrere, immer kleiner werdende Kaliber. Die obere Walze ist verstellbar. Die Rohrluppe wird mit Hilfe eines verfahrbaren Einstoßwagens durch Druckluft zwischen ein Kaliber der Arbeitswalzen gestoßen, zwischen denen sie über den dort auf einer dünnen Dornstange steckenden Walzstopfen gewalzt wird, wobei sie länger und dünnwandiger wird. Hinter den Arbeitswalzen sind Rücklaufwalzen angeordnet, die sich im entgegengesetzten Sinn wie die Arbeitswalzen drehen und dieselben Kaliber wie die Arbeitswalzen haben. Während des Walzens stehen die beiden Rücklaufwalzen so weit auseinander, daß das gewalzte Rohr ungehindert passieren kann. Nach dem Durchgang der Rohrluppe durch die Arbeitswalzen wird die verstellbare Oberwalze automatisch gehoben. Gleichzeitig werden die Rücklaufwalzen auf das Rohr gedrückt, die nunmehr das halbfertige Rohr, das sich in seiner ganzen Länge auf der festabgestützten Dornstange befindet, wieder vor die Arbeitswalzen befördern. Bei dem Rückwärtstransport streift das Rohr den lose auf dem Dorn sitzenden Walzstopfen ab. Der Einstoßwagen fängt das Rohr auf und fährt vor das folgende Kaliber, wo die Walzung nach Drehung des Rohres um ca. 90°, zur Beseitigung des seitlich zwischen die Walzen gequetschten Materials, neu beginnt. So erhält das Rohr nach jedesmaligem Kanten entweder noch mehrmals durch dieselben Walzen über andere Stopfen oder durch immer kleiner werdende Kaliber noch viele (meist ca. 8 bis 12) Stiche bis zur Fertigstellung. Wie man sieht, bedarf es bei diesem Verfahren recht vieler Walzendurchgänge, bis die vorgewalzte Rohrluppe die verlangten Maße des Rohres erreicht. Der Nachteil des Verfahrens besteht nun nicht allein in seinem großen Raumbedarf, dem gewaltigen Kraftbedarf zum Antrieb der verschiedenen Aggregate und Gerüste und der Kostspieligkeit der Unterhaltung, sondern auch in den langen Strecken, die das Werkstück zurücklegen muß, ehe es seine Endgestalt erreicht hat. Dies bedingt entweder ein mehrmaliges Nachwärmen der halbfertigen Rohre oder es birgt die Gefahr zu kalten Walzens und damit eine Verschlechterung des Werkstoffes in sich. Trotz dieser Nachteile ist das Verfahren noch bei einer Zahl von Rohrwerken in Betrieb, weil andererseits für alle Rohrabmessungen immer nur eine Dimension eines Vierkantblockes zur Verwalzung kommt, während bei den anderen Verfahren immer wieder eine andere, den herzustellenden Rohrabmessungen entsprechende Ausgangsdimension benötigt wird.

Das schwedische Verfahren wird zur Auswalzung von Rohren bis ca. 150 mm Durchmesser angewandt. Die maximale Länge der Rohre kann 9 m erreichen.

Den Nachteil des langen Walzwegs durch das Passieren vieler Kaliber des Duo-Stopfenwalzwerks beim schwedischen Verfahren ver-

meidet das hauptsächlich in Amerika eingeführte sogenannte automatische Verfahren. Dieses verwendet als Ausgangsprodukt ein in einem Mannesmann-Schrägwalzwerk oder einem Scheibenwalzwerk bereits auf etwa 6 bis 8 mm Wandstärke ausgewalztes Rohrstück. Diese Abmessung erfordert dann zur Fertigstellung des Rohres nur noch zwei Stiche in einem Kaliber, sodaß das Stopfenduo nur noch aus einem einzigen Gerüst zu bestehen braucht. Das Duowalzwerk selbst gleicht im Aufbau und Betrieb dem Duostopfenwalzwerk des Schwedenverfahrens. Abweichend von diesem haben die Walzen nur noch wenige Kaliber; sie sind somit nicht so lang ausgebildet wie bei der Schwedenstraße. Im Uebrigen gehören zum automatischen Verfahren dieselben Zubehörapparate wie zum schwedischen Verfahren. Der Fabrikationsgang ist folgender: In Rollöfen vorgewärmte Rundknüppel werden im Scheiben- oder Schrägwalzwerk gelocht und darauf in derselben Hitze in der automatischen Straße in zwei Walzdurchgängen meist in einem Kaliber zum fertigen Rohr ausgewalzt. Das Rohr wird dann zur Verbesserung des äußeren Aussehens durch ein Glättwalzwerk geschickt und passiert zum Schluß noch ein Maßwalzwerk und eventuell noch eine Warmrichtmaschine. Mit dem automatischen Verfahren werden Rohre von 60 bis 160 mm Durchmesser bei ca. 7 bis 9 m Rohrlänge gewalzt.



Lageschema einer Automatic-Straße.

a Rollöfen; b Schrägwalzwerk; c Duostraße; d Sägen; e Glättwalze; f Dornauszieher; g Maßwalze; h Kühlbett.

Infolge der für die automatische Straße notwendigen dünnen Wandstärke des Hohlkörpers muß der Rundblock im Lochapparat besonders hohen Beanspruchungen standhalten, was wiederum nur ein ausgesucht gutes, homogenes, aber auch entsprechend teueres Material aushält. Dafür liegen die Vorteile des Verfahrens in den außerordentlich hohen Leistungen (200 Rohre und mehr pro Stunde) und der Möglichkeit, den Betrieb weitgehend zu mechanisieren. Das automatische Verfahren ist demnach besonders geeignet zur Herstellung großen Mengen Kessel- und Siederöhren derselben Abmessungen. Der Umbau auf eine andere Rohrabmessung dauert verhältnismäßig lange. Aus diesen Gründen ist das Verfahren auch speziell im Lande des Riesenbedarfs, in Amerika, entwickelt worden und viel im Gebrauch, während für europäische Ansprüche, infolge der entsprechend kleineren Mengen ein und derselben Abmessung, das Duo-Stopfenwalzwerk in Form des Schwedenwalzwerks, das nicht umgebaut zu werden braucht, das gegebene war.

2. Das Schrägwalzen. (Mannesmann-Verfahren.)

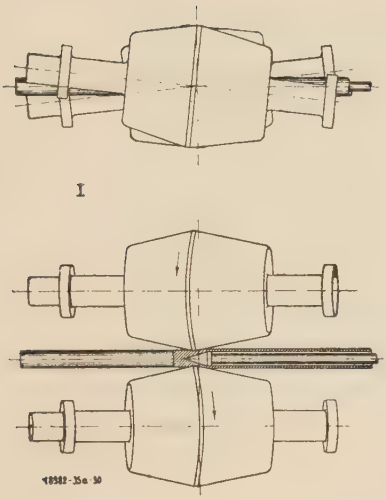
Die Erfindung der Gebrüder Reinhard und Max Mannesmann vom Jahre 1881 ist eine von denjenigen, die eine Revolutionierung des bisher Gewohnten bedeuten. Diese Erfindung kündigte mit einem Schlage eine völlige Umwälzung in der Verarbeitung des Eisens und Stahls an und erregte dementsprechend auch sofort in der ganzen Welt erhebliches Aufsehen. Denn bis dahin war die Entwicklung der Verarbeitung des Eisens im Walzwerk nur langsam vorgeschritten und kaum über das Anwalzen von Erhöhungen, Ver-

breiterungen etc. an Stabmaterial hinausgekommen, was zweifellos mit dem zu damaliger Zeit nur bekannten Schweißeisen zusammenhängt, das infolge seiner durch die Herstellung bedingten Struktur möglichst nur Querschnittsveränderungen in der Längsrichtung zuließ. Erst mit der Einführung des Flußeisens, das infolge seines homogenen Gefügeaufbaus Streckung und Stauchung nach allen Richtungen zuläßt, waren die Voraussetzungen für neue Walzverfahren gegeben. Die ersten Vorläufer hierfür waren unter anderen G. W. Dyson 1862, A. Lismann, München 1871 (Brevêt français Nr. 92667) und Alfred Longsdon in London 1879, die durch schräge und gegeneinander versetzte Walzen massive Rotationskörper streckten, richteten und glätteten. Aber erst die Gebrüder Mannesmann kündigten durch ihre weitgehenden Folgerungen, die sie aus ihrem aus den Vorgängen und aus den beobachteten Fehlererscheinungen beim Profilieren von Verbundstahl auf Schrägwalzenrichtmaschinen entwickelten Verfahren ableiteten, nämlich mit den einfachsten Mitteln auf dem kürzesten Wege die kompliziertesten Profile zu walzen, eine vollständige Umwälzung im Walzwerkswesen an. In ihrer Patentschrift D. R. P. Nr. 34617 vom 27. 1. 1885, die auf den Namen von Dr. Fritz Kögel ausgestellt ist, ließen sich die Erfinder vielartige Anwendungsgebiete sichern, wie z. B. die Formgebung von Winkeleisen, Schienen, Stahlflaschen, hohlen Achsen, Lokomotivkesseln etc., die in ihrer Mehrheit die auf sie gesetzten Hoffnungen nicht erfüllten und auch niemals praktisch in Erscheinung traten. Was von dem Patent praktisch verwertbar wurde — nämlich nur ein Teil des sogenannten fünften Walzverfahrens der Patentschrift — war die Herstellung nahtloser Rohre aus dem vollen Block. Dieser kleine Teil des damaligen Patentes war es, der ein Markstein sowohl in der Entwicklung der Rohrherstellungsverfahren als auch für andere Gebiete der Technik wurde. Trotzdem brachte die Anwendung des Verfahrens zunächst den Erfindern und der Oeffentlichkeit arge Enttäuschungen, da sich infolge der mit der Erfindung des Schrägwalzprinzips nicht gleichen Schritt haltenden Entwicklung anderer mit ihm verbundener Elemente des Maschinenbaus sachliche Schwierigkeiten bei der Durchführung des Verfahrens einstellten. Diese Schwierigkeiten konnten trotz der Begünstigung durch Zivil- und Militärbehörden, die sich aus der Erfindung viel für die Herstellung wichtiger Kriegsgegenstände, wie z. B. Gewehrläufe, Kanonenrohre und Lanzenschäfte, versprachen und trotz der zur Verfügung gestellten reichen Mittel (es wurde eine Aktiengesellschaft von 35 Mill. Mk. gebildet) zunächst nur langsam und mühevoll überwunden werden. Der mit der Veröffentlichung des neuen Verfahrens vorausgesagte Niedergang der alten Methoden der Schweißrohrfabrikation erfüllte sich infolgedessen zunächst nicht. Die alten Verfahren der Herstellung von Rohren mit Naht prosperierten im Gegenteil nach wie vor weiter, da die Gestehungskosten und Preise für nahtlose Rohre erheblich über denen der geschweißten Rohre blieben. Die nach den Erfindern genannten Mannesmannröhrenwerke brauchten noch bis zum Jahre 1905, ehe die Gesellschaft, nachdem sie bis dahin nur mit Unterbilanz gearbeitet hatte, erstmalig eine Dividende verteilen konnte.

Dem erwähnten Patent der Gebrüder Mannesmann und dem hiernach entwickelten Schrägwalzverfahren liegt der folgende Gedankengang zu Grunde:

Wird ein längs seiner Achse verschiebbarer, beispielsweise aus einer plastischen Masse bestehender Rundblock zwischen zwei schräg zur Horizontalen und zueinander gelagerten und sich im gleichen Sinne drehenden Walzen von zylindrischer Gestalt gebracht, dann wird dieser, falls die Walzen mit gleicher Kraft gegen den Rundblock drücken, mit gleichzeitiger Drehbewegung schraubenförmig in achsialer Richtung vorwärts geschoben. Wird nun die Vorwärtsbewegung des Blockes durch irgend ein Mittel gebremst, so werden die von

den Walzen berührten Blockoberflächenteilchen von diesen, unter der Voraussetzung, daß Block und Walzen nicht aufeinander gleiten, trotzdem unter gleichzeitig auftretenden Verdrehungsbeanspruchungen weiter vorwärts geschoben und über die ursprüngliche Blockbegrenzung am Blockumfang hinausgedrängt, sodaß an dem der Walzung unterworfenen Blockende in der Mitte eine Vertiefung entsteht. Die zur Lochbildung benötigte Verzögerung beim Durchgang des Blocks wird nun in einfachster Weise durch die Formgebung der Walzen selbst erreicht, dadurch daß sie am Ende kegelförmig abgestumpft oder konoidal ausgebildet werden. Hierdurch wird der Block an der Walzeneintrittsstelle sofort konisch geformt und damit seiner durch die Drehungen der Walzen versuchten Vorwärtsbewegung ein Hemmnis entgegengesetzt. Ist der jetzt konische Teil des Rundblocks an der engsten Stelle der beiden Walzen angelangt, so versuchen diese infolge ihrer, z. B. bei konoidaler Gestaltung, an dieser Stelle vorhandenen größten Umfangsgeschwindigkeit, den Block schneller voranzuschieben, als es dem dahinterliegenden stärkeren Konusteil des Blockes zu folgen möglich ist. Nach neueren Untersuchungen ist die hierbei eintretende Lochbildung darauf zurückzuführen, daß zunächst durch das Ansteigen der Vorschubgeschwindigkeit die inneren Blockteilchen beschleunigt nach vorne geschoben und aus der Mitte weggezogen werden. Von einem bestimmten Punkt der Bearbeitung an kehrt sich dieser Vorgang wieder um. Von da an werden die außen liegenden Blockteilchen wieder schneller vorwärts getrieben als die Blockkernteilchen. Die Folge ist die Entstehung einer kegelartigen Vertiefung im Kopfe des Ursprungsblocks, die weiter vorrückt, solange nur immer noch neue Oberflächenteile zwischen die engsten Treibpartien der Walzen gelangen. Die Höhlung bleibt ständig an ihrer Ursprungsstelle stehen, es bilden sich Hohlränder, die dadurch, daß sie längs der Achsenrichtung des Blockes in einer Schraubenlinie vorwärts getrieben werden, einen Hohlzylinder bilden. Wie zu erkennen ist, besteht nach diesem Verfahren theoretisch die Möglichkeit, ohne Verwendung eines Lochdorns Rohre herzustellen. Die Praxis zeigte allerdings, daß auch das Mannesmannverfahren letzten Endes nicht auf den Dorn, der mit dem Prinzip des Verfahrens nichts gemein hat, verzichten konnte. Das an der Innenoberfläche der Rohre aufgelockerte Gefüge wird durch die Geschwindigkeit und die hohe Beanspruchung der Materialverformung fransig und rissig. Die Möglichkeit des Hinzutretens von Luftsauerstoff kann in dem aufgelockerten Gefüge Oxydhäutchen und dadurch Schalenbildung entstehen lassen, die durch keinerlei Mittel mehr zu beseitigen sind. Da erfüllt die Einsetzung eines Dorns, der in der Regel, um die Stange nach der Walzung aus dem durch die Abkühlschrumpfwirkung enger werdenden Rohre leicht herausziehen zu können, aus einer verhältnismäßig dünnen Stange mit aufgesetztem Stopfenkopf gebildet wird, an der Stelle der Lochbildung gleich zwei Pflichten: er glättet nicht nur die aufgerauhte innere Rohroberfläche, sondern er verhindert gleichzeitig den Zutritt der atmosphärischen Luft bei der Höhlungsbildung und gestattet durch Vergrößerung des Lochdurchmessers auf seinen Außendurchmesser ein Wiederverschweißen der aufgelockerten Gefügeteile an den dadurch bedingten Druck- und Glättstellen. Außerdem bekräftigt die Einführung des Dorns infolge seiner die Vorwärtsbewegung des Blockes hemmenden Wirkung die Neigung zur Lochbildung, sodaß man bereits im Schrägwalzwerk verhältnismäßig dünnwandige Hohlkörper erhält. Um die Lochbildung zentrisch zu gestalten, wird in der Praxis in die Stirnseite des Blocks zentrisch ein Loch gebohrt, in das der Dorn angesetzt wird. Außerdem erleichtert die vorhandene kleine Bohrung den Lochprozeß im Anfangszustand und bedingt dadurch eine gewisse Kraftersparnis. Ueber die Formänderungen beim Schrägwalzen sind von J. Gassen, Kocks, Nöll und E. Siebel grundlegende Versuche und Darstellungen gemacht werden.



Schema der Schrägwalze.
(Doppelkegelförmige Walzen mit feststehenden Rohrführungen.)

Den Arbeitsvorgang in der Schrägwalze kann man hiernach in 3 Teile gliedern:

1. Beginn der Hohlwalzung durch Auflockerung des Blockkerns infolge außerordentlicher Ueberbeanspruchung durch Friemelwirkung, was lediglich Aufgabe der Schrägwalzen ist, die zu diesem Zweck so konisch ausgebildet werden, daß der Walzendurchmesser von der Blockeintrittsseite an wächst, sodaß der Block beim Walzen eingeschnürt wird. Diesen Teil der Walzen bezeichnet man mit Vorkaliber oder Lochungsteil.

2. Begünstigung der Lochbildung durch Entgegensetzen eines Dorns, also Zusammenarbeit der Walzen und des Dorns, wobei die Wandstärke des Blocks durch die Walzarbeit vermindert wird, die quer zur Fortbewegungsrichtung des Blockes ausgeführt wird. Diesen Teil der Verarbeitung bezeichnet man als Fertigkaliber oder Querwalzteil.

3. Runden, Glätten und Führen des fertigen Hohlkörpers. Dieser Teil ist verhältnismäßig unwesentlich und bedeutet normalerweise nur eine Kalibrierarbeit, wobei der Querschnitt des Hohlkörpers sich nicht mehr ändert.

Der Durchmesser des Lochdorns oder aufgesetzten Rundstopfens bestimmt mit dem Abstand der beiden Schrägwalzen, die im allgemeinen den Rundblock um 25 % seines Ursprungsdurchmessers verkleinern sollen, das innere und äußere Maß des gelochten Blocks. Die Wandstärke der auf dem Schrägwalzwerk erreichten Hohlzylinder kann zwischen 5 mm und 50 mm je nach Blockgröße schwanken.

Der Walzenantrieb erfolgte in den ersten Jahren durch Dampfmaschinen mit schweren Schwungrädern und ziemlich hoher Umdrehungszahl. Neuerdings werden zum Antrieb langsam laufende elektrische Motoren verwendet.

Die Eigenart des geschilderten Schrägwalzens stellt erhebliche Beanspruchungen an den zu verwalzenden Werkstoff und zwar, weil dieser gleichzeitig einer Vorschubbeschleunigung und einer Verdrehungsbeanspruchung ausgesetzt ist. Dies ist der prinzipielle Nachteil des Schrägwalzverfahrens, der letzten Endes auch daran Schuld ist, daß das Ziel der Erfinder, mit Hilfe des Schrägwalzverfahrens in einem Arbeitsgange aus Blockmaterial direkt fertige Rohre

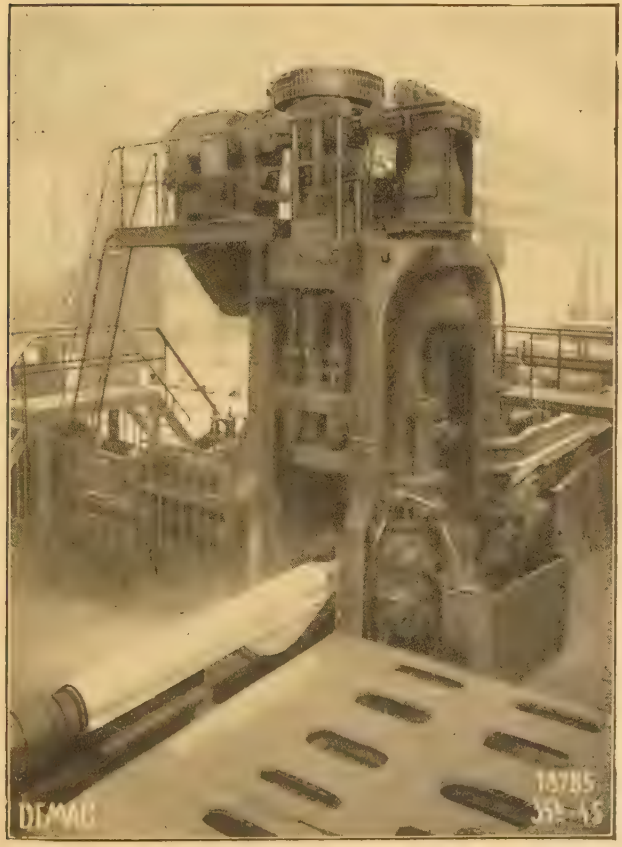
mit dünner Wand herzustellen, nicht zu lösen war, da auch die besten Qualitätsstähle dieser Beanspruchung nicht gewachsen sind. Das Schrägwalzverfahren dient daher heute allgemein nur zum Vorblocken, d. h. zur Herstellung dickwandiger Hohlkörper aus massiven Rundblöcken, die aus gewalztem Rundmaterial für kleine Rohrdurchmesser und aus gegossenen Blöcken für große Rohrdurchmesser bestehen. Aber schon hierbei machen sich Fehler im Rohstoff, insbesondere unganze Stellen, nichtmetallische Einschlüsse, Blasen und kleinere Risse sofort dadurch bemerkbar, daß die Widerstandsfähigkeit des Blockquerschnitts den großen mechanischen Beanspruchungen nicht mehr gewachsen ist und der Block beim Walzen zerreißt. Randblasiges Material neigt hierbei zu Zerstörungen und zu Schalenbildungen an der äußeren Rohroberfläche, während Kernblasen zu Doppelungen und Lappen an der Rohrinnenfläche führen. Die auf dem Schrägwalzwerk gelingende Rohrherstellung bedeutet also zugleich eine Probe für die Güte des Werkstoffes. Im allgemeinen wird daher als Werkstoff für Gußblöcke für das Mannesmannverfahren, wenn größerer Ausschuß vermieden werden soll, nur blasenfreies, also sogenanntes beruhigtes - siliziertes S. M. Material empfohlen. Dieses ist bekanntlich etwas teurer als das gewöhnliche, unruhige, unsilizierte Material, aber im Betrieb infolge des geringeren Fabrikationsausschusses trotzdem billiger.

Wie oben erwähnt, ist das Schrägwalzverfahren im allgemeinen nur zur Auswalzung dickwandiger Hohlkörper aus dem vollen Block geeignet. Die Gebrüder Mannesmann waren es nun ebenfalls, die zur Weiterverarbeitung dieser Vorprodukte zu dünnwandigen Rohren ein anderes Verfahren — das Aufweitewalzwerk — entwickelten, das sie sich 1886 mit dem D. R. P. Nr. 45892 schützen ließen. Dieses Walzwerk war ein Scheibenwalzwerk, wie es zum Richten und Runden von Rundeisen in Schottland und Deutschland schon längst bekannt und angewandt war und wie es der Amerikaner I. D. Davis ebenfalls bereits zur Rohrfabrikation vorgeschlagen hatte. Es besteht aus zwei gegeneinander geneigten Scheiben, die vorne eine kegelförmige Kuppe besitzen. Die Scheiben sind fliegend an Achsen befestigt, die sich gegenteilig gleich rasch drehen. Zwischen die Walzen wird ein vorgeblocktes und wieder auf Walzhitze gebrachtes Rohr eingeführt, das von ihnen in bekannter Weise vorwärts getrieben wird. Zwischen die geneigten Walzen greift eine dritte spitzkegelige Walze ein, die in Verbindung mit den beiden anderen Walzen die Wandung des Vorblocks zunächst kegelförmig aufweitet bis zum größten Durchmesser der spitzkegeligen Walze. Hierbei wird die Wandstärke verdünnt und das Rohr nach Erreichung dieses größten lichten Durchmessers in zylindrischer Form weiter vorwärts geschoben. Das Verfahren ähnelt einerseits bezüglich des Vorschubs des Blocks dem Schrägwalzverfahren und andererseits — beim zweiten Teil des Walzens der Wandstärke zwischen innen und außen liegender Walze — dem bekannten alten Walzverfahren. Es hat aber zunächst keine große Anwendung gefunden, da die Gebrüder Mannesmann bald darauf das Pilgerschrittverfahren, ein demselben Zweck dienendes Walzverfahren, einführten, das das Material weniger beanspruchte und wirtschaftlicher war. Erst in neuerer Zeit hat die alte Idee des Aufweitewalzwerks der Gebr. Mannesmann eine Nutzanwendung bei der Konstruktion eines Aufweitewalzwerks zur Herstellung von Rohren bis 1500 mm ∅ gefunden. Ein derartiges Walzwerk ist 1933 bei den Mannesmannröhrenwerken in Düsseldorf-Rath zur Aufstellung gekommen.

3. Pilgerwalzwerke.

Nach der bitteren Erkenntnis, ihr Schrägwalzprinzip in der Praxis nur zur Herstellung verhältnismäßig dicker kurzer Rohre anwenden zu können, brachte den Erfindern, den Gebrüdern Mannesmann, nach dem Ausweg des Aufweitens der im Schrägwalzwerk

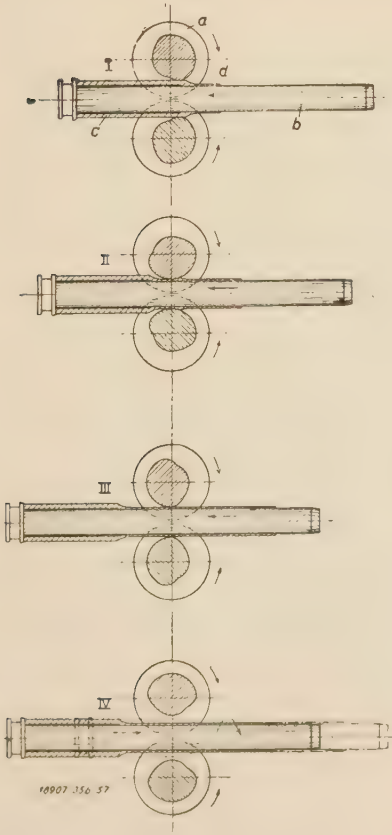
Schrägwalzwerk. Block kurz vor Beendigung des Lochprozesses.

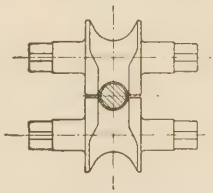


Pilgerwalzwerk.
Auspilgern eines ca. 30 m langen Rohres.

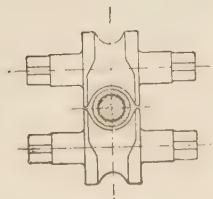
hergestellten dickwandigen Rohrluppen zu dünnwandigen Rohren im Scheibenwalzwerk aber schließlich ihr Patent Nr. 58762 vom 24. Februar 1891 über die Anwendung des sogenannten Pilgerschrittwalzwerkes vollen Erfolg. Zwar war auch der diesem Patent zu Grunde liegende Gedanke nicht mehr neu. Bereits im britischen Patent Nr. 1105 vom 10. Mai 1856 hatte der englische Rohrfabrikant Richard Archibald Brooman das Prinzip des absatzweisen Walzens festgelegt und beschrieben, ohne daß es damals zu praktischer Bedeutung gekommen wäre. Auch die ersten Bauarten der Gebrüder Mannesmann befriedigten in den folgenden Jahren wenig, bis ihnen schließlich das D. R. P. Nr. 91212 vom 22. November 1895 durch das Verfahren des Rückwärtspilgerns gegen den Dorn die volle Lösung des Problems brachte.

Im Gegensatz zu den alten Kaliberwalzwerken bezweckt das ebenfalls als Zweiwalzen-Walzwerk im Werk Komotau ausgebildete Pilgerschrittwalzwerk die Fertigwalzung der im Schrägwalzwerk gewalzten Hohlkörper auf jede gewünschte Wandstärke bis herunter zu ca. 2,5 mm in derselben Hitze durch nur einen einzigen Walzendurchgang. Dies wird durch eine sinnreiche Konstruktion der Walzen erreicht, die als Duowalzen verstellbar übereinander liegen, aber nur auf einem Teil ihrer Oberfläche ein kurzes Stück walzen, worauf das Rohr mit Dorn — unter gleichzeitiger Drehung — nach der der Walzung entgegengesetzten Richtung zurückgeschleudert wird, um dann erneut in der ersten Walzrichtung wieder ein Stück weiter ausgewalzt zu werden. Diese sprunghafte, vor- und zurückweichende Bewegung, die an die Marschweise der Echternacher Prozessionspilger erinnert, hat diesem Walzwerk den Namen „Pilgerschrittwalzwerk" eingebracht. Die eigenartige Konstruktion der Walzen geht aus der Darstellung hervor. Sie besitzen auf halbem Umfange die notwendige





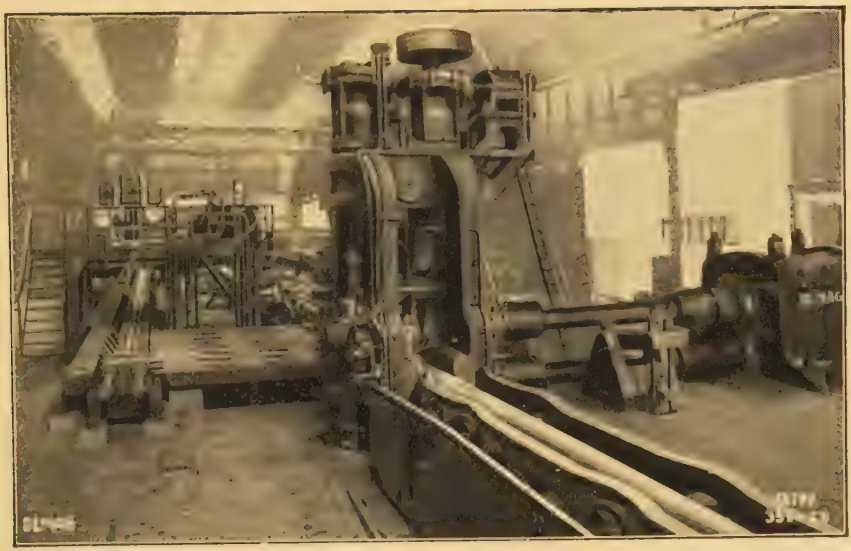
Schema des Pilgervorganges.
a Arbeitswalzen; b Pilgerdorn; c Hohldorn; d ausgepilgertes Rohrstück.



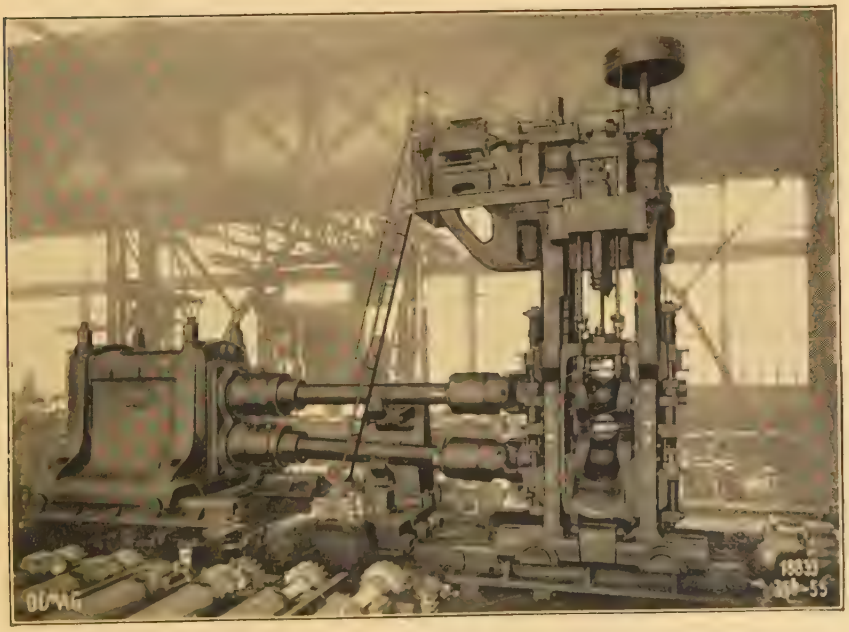
Walzenkalibrierung und auf dem übrigen Umfangsteil eine Abflachung oder Aussparung, die etwas größer als der Außendurchmesser des zu walzenden Hohlkörpers ist, die sogenannte Leerlaufkalibrierung. Beide Walzen werden über ein Kammwalzgerüst kontinuierlich angetrieben. Der Walzvorgang ist folgender: Das von der Schrägwalze kommende und auf einen Dorn geschobene dickwandige Hohlstück wird in dem Augenblick zwischen die der Einführungsrichtung entgegengesetzt laufenden Walzen gebracht, in dem sich beide Leerlaufkaliber gegenüberstehen. Das Lochstück wird zunächst von den Walzen etwas eingekniffen und angespitzt und dabei von den konischen Uebergängen vom Leerlaufkaliber zum Arbeitskaliber erfaßt und durch das sich verengende Arbeitskaliber um einen gewissen Teil über den Dorn gestreckt bis zu dem Augenblick, wo die Leerlaufkaliber wieder beginnen. In diesem Augenblick wird der Hohlkörper mit dem Dorn durch die Aussparungen der Walzen hindurch um den von der Walze zurückgelegten Weg mechanisch in seine Ausgangsstellung zurückgeführt. Diese Bewegung des Dorngestänges Vorholung, wird mit Hilfe einer Drallspindel dazu ausgenutzt, dem Werkstoff eine Drehung von 90° zu erteilen, um eine gleichmäßige Rundung des Rohres zu erhalten. Gleichzeitig ist der Dorn mit Hohlkörper durch einen Vorschubapparat um 8 bis 25 mm weiter vorgerückt, sodaß dem Arbeitskaliber ein neues anschließendes Stück des Hohlkörpers zur Ausstreckung zugeteilt wird und ein neuer gleichartiger Verformungsvorgang beginnt. Diese Arbeitsgänge wiederholen sich bei jeder Umdrehung der Walzen solange, bis der Hohlblock zu einem Rohr mit der verlangten Rohrabmessung ausgestreckt ist. Da der Dorn eine kleinere Vorschubbewegung ausführt, als der Streckung des Rohres entspricht, wird dieses allmählich über den Dorn hinweggeschmiedet. Nach erfolgter Auswalzung wird der Dorn durch den Vorschubapparat rückwärts aus dem Rohr herausgezogen, während dieses durch eine sich gegen die Walzenständer stützende und senkrecht bewegliche sogenannte „Abziehbrille" festgehalten wird. Ein letztes, sich gegen den Kopf des Dornes legendes kurzes Stück des Hohlkörpers kann nicht ganz auf die verlangte Rohrabmessung gewalzt werden. Um das Rohr mit diesem Rohrstück, dem sogenannten „Pilgerkopf", durch das Walzkaliber in die Rohrauslaufrinne hinter dem Pilgergerüst befördern zu können, werden nach beendigter Walzung die obere Pilgerwalze und die Rollen des Auslaufrollgangs automatisch gehoben, sodaß auch der dickere Pilgerkopf ohne Anstoß durch die Walzenöffnung hindurchgezogen werden kann. (Der Pilgerkopf wird für Gas- und Wasserleitungsrohre direkt zur Rohrmuffe ausgepreßt.)

Nach diesem Verfahren, bei dem der Innendurchmesser der Rohre durch den Pilgerdorndurchmesser und der Außendurchmesser durch das Arbeitskaliber der beiden Walzen bestimmt wird, können Rohre von 40 bis 650 mm Außendurchmesser bis zu einer normalen Länge von 6 und maximal bis 30 u. U. 45 m und einer kleinsten Wandstärke von 2,5 mm hergestellt werden. Die Möglichkeit der Bewältigung eines derartig umfangreichen Walzprogramms hat dem Pilgerwalzverfahren die hervorragendste Stellung unter allen Rohrwalzverfahren erobert.

Da die Pilgerwalzen, wie erläutert, nur während eines Teils ihrer Umdrehung den Hohlblock bearbeiten, so brauchen die Walzen selbst auch keine vollen Umdrehungen auszuführen, sondern man kann sie auch als Segmente ausbilden und hin- und herschwingen lassen, wobei möglicherweise die Leerlaufzeit abgekürzt werden kann. Das Pilgerschrittwalzwerk nach Briede ist nach dieser Ueberlegung ausgebildet worden, nachdem bereits W. Filkington in Sandfields bei Birmingham diese Bauart im britischen Patent Nr. 9880 vom 20. April 1897 vorgeschlagen hatte. Die Segmente werden durch einen Kurbeltrieb hin- und herbewegt und strecken so den Hohlkörper ebenfalls absatzweise. Auch von diesen Pendelwalzwerken sind



Pilgerwalzwerk mit Zufuhrrollgang vom Schrägwalzwerk (Rückansicht).



Pilgergerüst mit Kammwalzgerüst (Werkstattmontage).

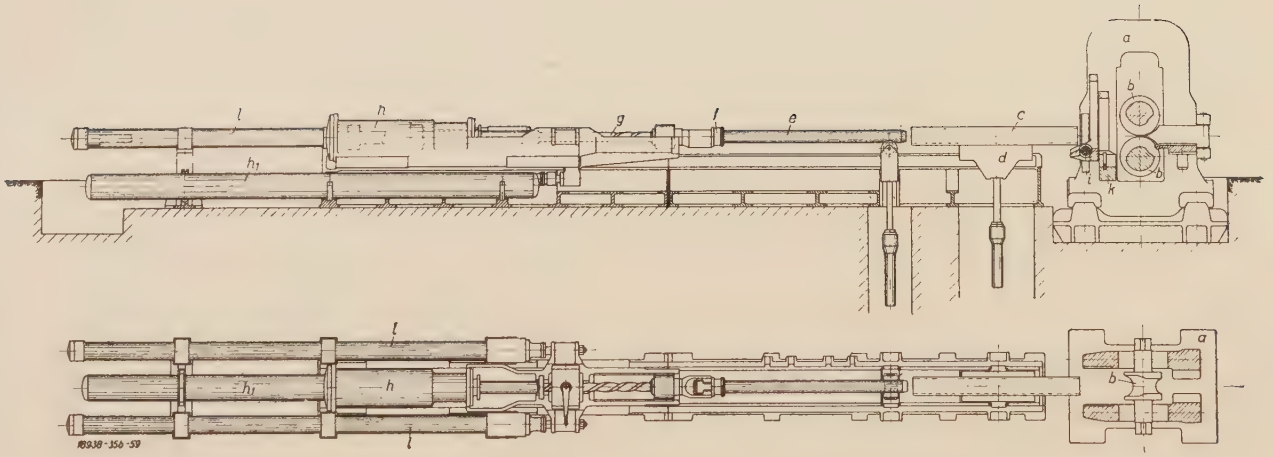
heute noch einige in Betrieb; ihr Mechanismus soll jedoch so sehr dem Verschleiß unterworfen sein, daß nach Ablauf der Mannesmannpatente seit 1910 keine derartigen Anlagen mehr neugebaut worden sind.

Aehnlich wie bei den normalen Stabeisenwalzwerken können auch beim Pilgerwalzwerk auf denselben Walzengerüsten mehrere Kaliber nebeneinander eingebaut werden. Wird die Arbeitsweise so eingerichtet, daß sich abwechselnd z. B. im ersten Kaliber die Arbeitskaliber, im zweiten Kaliber die Leerlaufkaliber gerade über den Werkstücken befinden, so bedeutet dies einen gleichmäßigen und niedrigen Kraftverbrauch. Mit zweigerüstigen Pilgerstraßen können bei Herstellung von ca. 70 mm Rohrdurchmesser ca. 70 und bei 300 mm Rohrdurchmesser bis 25 Rohre stündlich erzeugt werden.

Der Vorschubapparat, auch Speisevorrichtung genannt, ist der empfindlichste und am ehesten zu Störungen neigende Teil des Pilgerschrittwalzwerks. Von der einwandfreien Konstruktion dieser Speisevorrichtung hängt es in erster Linie ab, ob das Walzwerk wirtschaftlich befriedigend arbeitet. In der ersten Zeit wurden die Dorne durch Menschenhand gehalten und geführt, bis sich im Jahre 1896 fast überall die mechanische Führung mit wandernden Dornen einführte. Die Speisevorrichtung setzt sich aus der Vorholvorrichtung und der Vorschubvorrichtung zusammen. Die Vorholvorrichtung muß den von den Walzen beim Auswalzen nach rückwärts bewegten Hohlblock mit Dorn wieder zwischen die Walzen bringen, während die Vorschubvorrichtung hierbei jedesmal den Hohlblock um ca. 8—25 mm weiter durch die Walzen zu schieben hat. Die für die Vorholvorrichtung notwendige Kraft, die in der Entwicklungsperiode zunächst durch Menschenkraft aufgebracht wurde, erzeugten die deutsch-österreichischen Mannesmannröhrenwerke schließlich durch Spiralfedern, was sie sich mit dem D. R. P. Nr. 125 290 schützen ließen. An Stelle der Federn ging man erstmalig im Jahre 1908 auf Druckluft über, die heute in modernen Anlagen fast ausschließlich verwendet wird. Muß die Vorholkraft groß genug sein, um den Hohlblock nach jedem durch das Walzen verursachten Rückwärtsgang wieder rechtzeitig zwischen die Walzen zu bringen, so muß andererseits dafür gesorgt sein, daß die lebendige Kraft des hin- und hergehenden Walzgestänges mit Hohlblock immer rasch genug abgebremst wird. Eine genügende Abbremsung wurde durch eine gesondert angebrachte Flüssigkeitsbremse erreicht, die von 1912 an mit der Luftvorholung und der Drehvorrichtung in einem Gehäuse vereinigt wird. Der regelmäßige Vorschub des Walzgutes zwischen die Walzen nach jeder Umdrehung wird unabhängig von der Vorholvorrichtung mit Hilfe von hydraulischem Antrieb bewirkt. Dieser muß immer eine gleichmäßige Vorschubgeschwindigkeit garantieren, um nicht verschieden große Materialmengen unter die Walzen gelangen zu lassen, was sonst Ausschuß oder Walzenbruch zur Folge haben kann. Zur Sicherung vor ungleichmäßigem Vorschub durch Druckschwankungen in der Druckwasserleitung ist der Einbau von Druckausgleichsreglern von Vorteil.

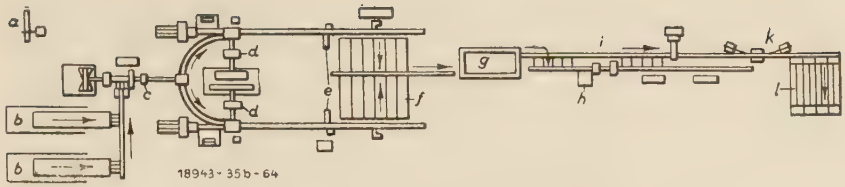
Nicht unerwähnt soll noch bleiben, daß selbstverständlich die Abmessungen und Kalibrierungen der Pilgerwalzen selbst für ein wirtschaftliches Arbeiten und geringsten Materialverschleiß von großer Bedeutung sind Bei optimaler Ausnutzung und Ausführung aller wichtigen Elemente eines Pilgergerüstes sollen die Leistungen nach Ansicht von Röber auf nachstehende Zahlen gesteigert werden können: Bei zweigerüstigen Pilgerstraßen:

120 Stück von 60 mm Durchmesser und 12 m Länge
60 Stück von 152 mm Durchmesser und 16 m Länge
38 Stück von 203 mm Durchmesser und 24 m Länge
33 Stück von 318 mm Durchmesser und 24 m Länge



l Vorschubapparat für Pilgerwalze.

a Pilgergerüst; b Pilgerwalzen; c Hohlblock; d heb- und senkbarer Tisch; e Pilgerdorn mit Schloß f; g Drallspindel; h Luftzylinder mit Sammler h_1; i Einführbrille; k Abstreifbrille; l hydraulische Vorschubzylinder.



Lageschema eines Pilgerwalzwerkes.

a Blockbrecher; b Rollöfen; c Schrägwalzwerk; d Pilgerwalzwerke; e Warmsägen; f Rohrroste; g Nachwärmofen; h Glättwalzwerk; i Maßwalzwerk; k Richtmaschine; l Kühlbett.

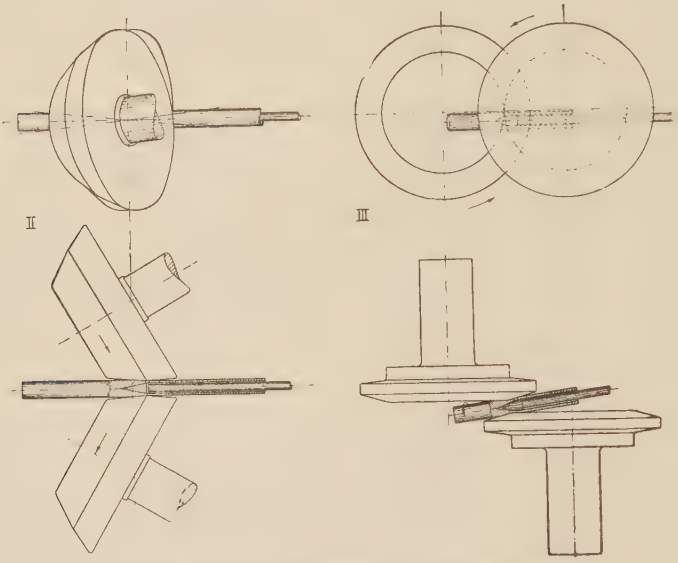
Die durch Pilgern hergestellten Rohre haben, wenn die Walzen des Pilgerschrittwalzwerkes sich im guten Zustand befinden, immer ein sauberes Aussehen und eine glatte Innenoberfläche. Man verwendet sie deshalb in vielen Fällen direkt ohne weitere Nachbehandlung. Dies trifft in der Regel für Gas- und Dampfrohre zu. Werden genauere Ansprüche an die Maßhaltigkeit gestellt, wie z. B. für Siederohre, so werden die gepilgerten Rohre in Nachwärmöfen erneut auf Walztemperatur erhitzt und in Glättwalzwerken, die unter dem Abschnitt „Ehrhardtverfahren" ausführlicher beschrieben werden, erneut über einen Dorn gewalzt und in Maßwalzwerken im äußeren Durchmesser auf genaues Maß gebracht.

4. Rohrwalzverfahren nach Stiefel.

Das Aufsehen und der allmählich einsetzende ungeheure Erfolg, den die Erfindung des Schrägwalzwerks der Gebrüder Mannesmann in allen Ländern auswirkte, regten Erfinder und Ingenieure an, Umgehungsversuche der Mannesmannpatente zur nahtlosen Rohrherstellung zu wagen. Besonders lebhaft setzten solche Experimente in Amerika, dem Lande einer durch Kapital, Bodenschätze und Bedarf in gleicher Weise stark angeregten Industrie, ein. Unter den Erfindern der Jahre 1890 bis 1900 ist dort an erster Stelle der frühere Mitarbeiter der Brüder Mannesmann, der gebürtige Schweizer Ralph Charles Stiefel aus Pennsylvania zu nennen. Er führte in Amerika das Scheibenwalzwerk zum Hohlwalzen ein und erzielte damit besonders für Rohre kleiner Abmessungen große Erzeugungszahlen. Sein in den Vereinigten Staaten unter Nr. 551340 und in England unter Nr. 23702 im Jahre 1895 geschütztes Patent behandelt das Lochen massiver Blöcke durch einseitig gelagerte, exzentrisch versetzte, aber parallele Walzen von scheiben- oder kegelartiger Form mit Hilfe eines spitzen Dornstopfens. Diesem Walzverfahren liegt zweifellos nur die Mannesmann'sche Idee zu Grunde, was auch daraus hervorgeht, daß Stiefel in Deutschland ein Patent hierauf verweigert wurde. Daß dieses Verfahren vom Mannesmannverfahren unterscheidende Merkmal sollte darin bestehen, daß durch geeignete Ausbildung der Arbeitsflächen der Walzen alle Oberflächenteilchen des Blockes annähernd die gleiche Geschwindigkeit erhalten, sodaß die „Rohre ohne Verdrehung oder Verdrehungsbeanspruchung" ausgewalzt werden. Der Rundblock sollte nach Stiefel beim Passieren der engsten Walzenstellungen in der Hauptsache eine Oberflächenlängsstreckung erfahren, wodurch er zwangsläufig über den vorgestreckten spitzen Dorn geschoben und zu einer Rohrluppe mit dünnerer Wandstärke als es beim Mannesmannschrägwalzen möglich ist, auszuwalzen sein sollte. Diese Theorie Stiefels ist später von den verschiedensten Seiten angegriffen und auch widerlegt worden.

In der Regel bestehen die Arbeitswalzen beim Stiefel-Verfahren aus fliegend angeordneten Scheiben mit abgeschrägten Arbeitsflächen, die sich überlappen. Beide Scheiben drehen sich im gleichen Sinn.

Der zu lochende Block tritt parallel zur Achsenebene der Walzen ein und erhält durch die Arbeitsflächen der Walzen eine zugleich drehende und vorwärtsschiebende Bewegung. An der engsten Durchgangstelle steht dem vorwärtsdrängenden Block ein Dorn entgegen, der meist rotierend gelagert ist, wodurch im Gegensatz zum feststehenden Dorn die Lochungsarbeit leichter und rascher möglich ist. Die so erzeugten Rohre werden meist zur Glättung der Oberflächen und zur Erreichung dünnerer Wandungen in derselben Hitze noch in einem Streckwalzwerk (Duorohrwalze) weiter ausgewalzt.



Kegel- und scheibenförmige Rohrwalzen.

Das Verfahren hat sich in Amerika recht schnell eingeführt und hat im Laufe der letzten Jahrzehnte vielerlei Modifikationen durch Stiefel selbst und durch andere Erfinder erfahren, die jedoch alle gegenüber dem alten Mannesmannverfahren nichts wesentlich neues bedeuten. Auch in Deutschland hat das Stiefelverfahren, wenn auch nur in bescheidenem Umfange, Eingang gefunden. Der Vorteil des Verfahrens besteht in seiner Leistungsfähigkeit. Die damit zusammenhängende Schnelligkeit des Walzens und die daraus resultierende Beanspruchung des Materials selbst verlangt andererseits die Verwendung einwandfreiesten Ausgangsmaterials, meist vorgewalztes (und dadurch entsprechend teueres), beruhigtes S.-M.-Material.

5. Aufweitewalzwerke.

Geistige Urheber und auch die ersten Konstrukteure eines solchen Walzwerks waren die Gebrüder Mannesmann, die in der Patentschrift D. R. P. 45892 bereits 1886 alle wesentlichen Merkmale der Kalibrierung und konstruktiven Durchbildung festlegten. Die schnellere Entwicklung des Pilgerwalzwerks, dessen Erfindung später erfolgte, ließ diese Querwalzwerke in Vergessenheit geraten und erst nach dem Kriege wurde ihre Weiterentwicklung von den Mannesmannwerken und von R. C. Stiefel wieder aufgenommen. Bedingt wurde dies durch die Tatsache, daß bei der Herstellung großer Rohrdimensionen über 550 mm Durchmesser auf der Pilgerstraße, besonders bei dünner

Wandstärke, beträchtliche Betriebsschwierigkeiten und wirtschaftliche Schwierigkeiten durch hohe Anlagekosten und hohen Dorn- und Walzenverschleiß auftraten. Ehrhardt schlug bereits 1895 vor, ein nach bekannten Verfahren hergestelltes dickwandiges Rohr in einem einfachen Duowalzwerk mit seitlich verschiebbarer Oberwalze auszuwalzen, wobei das ganze Rohr auf einmal zwischen den Walzen in der Wandstärke vermindert und dabei aufgeweitet wird. Dieser Gedanke scheiterte daran, daß bei langen Rohren die Biegungsbeanspruchung der Oberwalze zu groß wird. Dagegen gelang es Ehrhardt um die Jahrhundertwende, auf diese Weise nahtlose Kesselschüsse von 1—4 m Länge, 470–1400 mm Durchmesser und 10—95 mm Wandstärke und Turbinentrommeln von 1900 mm Durchmesser von 2–2,5 m Länge im Preß- und Walzwerk Reisholz einwandfrei herzustellen. Für größere Längen war es aber notwendig, einen anderen Weg zu finden, der ein kontinuierliches Auswalzen der Wandstärke unter gleichzeitigem Vorschub des Walzgutes ermöglichte. Das Prinzip eines derartigen Aufweitewalzwerks besteht darin, daß die Wand eines auf dem Schrägwalzwerk und der Pilgerstraße hergestellten dickwandigen Rohres mittleren Durchmessers durch die Einwirkung zweier Kegelwalzen, deren Achsen symmetrisch windschief zur Walzgutachse liegen und die dadurch die Vorwärtsbewegung des Walzgutes bewirken, und eines Dornes quer zur Vorwärtsbewegung des Rohres ausgewalzt wird, sodaß das Rohr einen größeren Durchmesser und dünnere Wandstärke erhält. Werden Walze und Rohrachse in eine Ebene gelegt, so muß die Vorwärtsbewegung durch mechanische oder hydraulische Vorrichtungen erzwungen werden.

Durch theoretische Untersuchungen konnte in neuester Zeit (z. B. durch Gruber) nachgewiesen werden, daß die an eine Aufweitkalibrierung zu stellenden Forderungen nicht gleichzeitig exakt erfüllbar sind. Es sind dies die folgenden:

1. Walze und Walzgut müssen stets in Berührung stehen;
2. eine Verdrehung des Walzgutes muß vermieden werden;
3. da die Länge und der Querschnitt des Walzgutes beim Aufweiten konstant bleiben, muß die Vorwärtsgeschwindigkeit in Richtung der Walzgutachse konstant sein.

Kegelig ausgeführte Walzen- und Dornkalibrierungen können aber diesen Bedingungen in größter Annäherung gerecht werden. Solche Ausführungen werden heute bereits praktisch angewendet, nachdem durch konstruktive und betriebstechnische Maßnahmen die während des Walzens auftretenden und bei den dünnen Wandstärken gefährlichen starken Strahlungstemperaturverluste weitgehend vermindert werden konnten, was wichtig ist, da das aufgeweitete Rohr noch ohne neuerliche Anwärmung das Maßwalzwerk und die Richtmaschine passieren muß.

So ist es 1933 gelungen, entsprechend den Gedanken der Gebrüder Reinhard und Max Mannesmann aus dem Jahre 1886 durch Aufweitewalzwerke nahtlose Rohre bis 1500 mm im Durchmesser und großen Längen, die natürlich von der Größe der in den Lochwalzwerken maximal auswalzbaren Blockgewichten abhängen, in den Mannesmannröhrenwerken in Düsseldorf-Rath herzustellen.

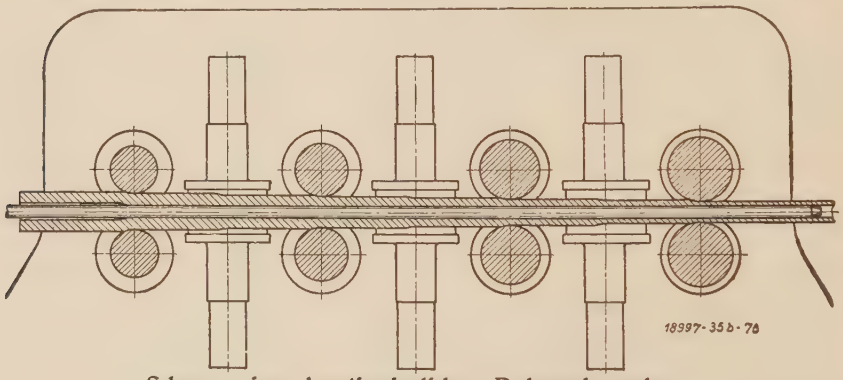
6. Das kontinuierliche Rohrwalzverfahren.

Die kontinuierlichen Walzwerke, die aus dem Bedürfnis nach Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Walzwerke heraus entstanden, führten sich, obwohl bereits seit Anbeginn des 19. Jahrhunderts zahlreiche Vorschläge und Patente auf diesem Gebiet gemacht worden waren, erst nach den im Jahre 1861 an Charles White und 1862 an Georges Bedson erteilten Patenten ein [16]). Sie wurden damals in Form liegender und stehender Walzen zum Vorblocken von Schweißstahlpaketen mit Erfolg verwendet. Das kontinuierliche Walzwerk ver-

[16]) Puppe: Entwicklungslinien der Walzenstraßen. St. u. E. 53.

dankt seine darauf rasch einsetzende Entwicklung, neben der Möglichkeit einer vollständigen Mechanisierung des Walzvorganges, den Aussichten zur Erreichung höchster Walzgeschwindigkeiten. Es wurde zunächst zur Auswalzung von Knüppeln, Platinen, Bandeisen und später auch zum kontinuierlichen Walzen von Grob- und Mittelblechen, Stab- und Profileisen ausgebildet und besonders in Amerika bevorzugt wegen des dort in der Zeiteinheit vorliegenden Bedarfs der Erzeugung ganz besonders großer Mengen.

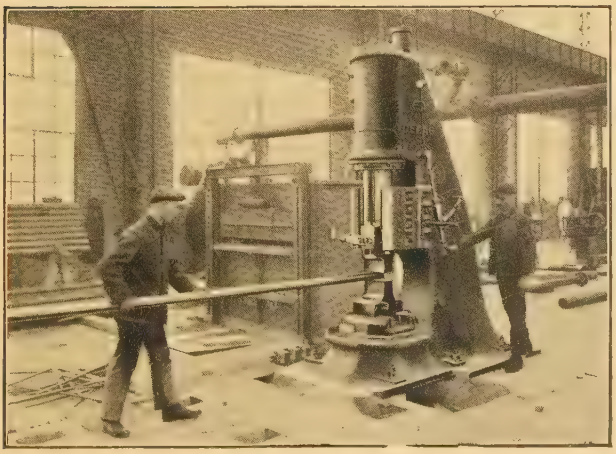
Die ersten praktischen Versuche zur Anwendung des kontinuierlichen Walzbetriebes auf die Röhrenfabrikation fielen in die neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts. Der Amerikaner Kellog konstruierte im Jahre 1890 ein kontinuierliches Rohrwalzwerk mit 5 Walzenpaaren. Später hat man das kontinuierliche Walzwerk meist mit 7 Walzenpaaren gebaut, deren Achsen abwechselnd horizontal und vertikal gelagert und von denen in der Regel vier horizontal und drei vertikal angeordnet sind. Der Antrieb der Walzenpaare erfolgt durch einen Motor über Kammwalzgerüste, wobei durch entsprechende Zahnradübersetzung jedes folgende Walzenpaar entsprechend der Streckung des Werkstückes schneller als das vorhergehende läuft. Die vertikal stehenden Walzenpaare werden durch Kegelräder angetrieben. Als Ausgangsprodukt kommen in der Mehrzahl die auf der Mannesmann'schen Schrägwalze gewalzten Rohrluppen in Frage. Es können jedoch auch alle anderen mehr oder weniger dickwandigen Hohlkörper, die nach dem Walz-, Preß- oder Gießverfahren hergestellt sind, als Ausgangsprodukt verwendet werden.



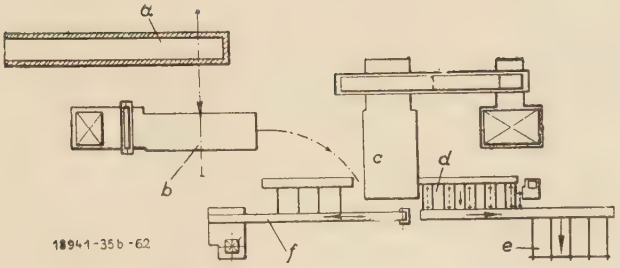
Schema eines kontinuierlichen Rohrwalzwerkes.

Der ca. 6 Sekunden währende Walzvorgang vollzieht sich folgendermaßen: Der beispielsweise im Mannesmann-Schrägwalzwerk ausgewalzte Hohlblock wird in derselben Hitze vor das erste Walzenpaar gebracht, wo ein Rundstab (Dornstange) von dem verlangten Innendurchmesser des fertigzustellenden Rohres in seinen Hohlraum eingeschoben wird. Darauf durchläuft der Hohlblock mit innenliegender Dornstange unter Reduzierung seines Durchmessers und seiner Wandstärke die sieben Walzkaliber in einem Durchgang. Nach Verlassen des letzten Walzenpaares hat das Rohr den verlangten Außendurchmesser und die gewünschte Wandstärke. Es haftet allerdings noch fest auf der Dornstange. Zur Loslösung gelangen nun beide auf direktem Wege in ein Löse- oder Glättwalzwerk. Die in diesem schräg zur Rohrachse liegenden Glättwalzen weiten nach dem Mannesmannprinzip in bekannter Weise das Rohr etwas auf und lösen es so von der Dornstange. Diese wird darauf auf einer Ausziehvorrichtung aus dem Rohr gezogen, während dieses selbst noch ein Maß- oder Kaliberwalzwerk zur genauen Rundung und Kalibrierung des Außendurchmessers passiert.

Reduzierwalzwerk mit Kühlrost.



Druckluftthammer mit Wärmofen zum Ausschmieden des massiven Rohrbodens der nach dem Stoßbankverfahren erzeugten Rohre zu Ziehangeln.



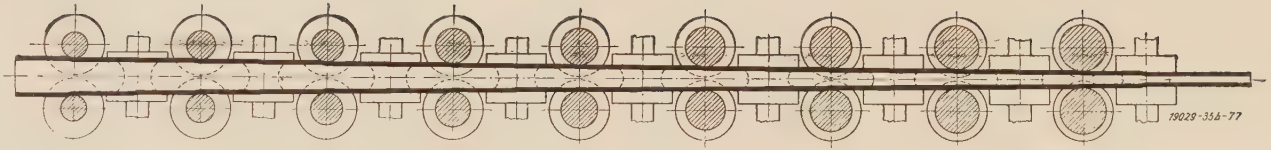
Lageschema eines kontinuierlichen Rohrwalzwerks.
a Blockofen; b Schrägwalzwerk; c kontin. Straße; d Querschleppketten; e Kühlbett; f Dornausziehbank.

Die kontinuierlichen Walzwerke mit mitlaufendem Dorn dienen, soweit sie überhaupt noch angewandt werden, zur Erzeugung von Röhren bis zu ca. 85 mm Durchmesser. Obgleich ihre Produktionsmöglichkeit verhältnismäßig hoch bei ca. 150 Rohren pro Stunde liegt, sind in den Jahren nach dem Weltkriege keine kontinuierlichen Rohrwalzwerke mit mitlaufendem Dorn mehr zur Aufstellung gekommen. Auch der von R. C. Stiefel in Ellwood City U. S. A. im Jahre 1912 gemachte Vorschlag, der mit D. R. P. Nr. 261638 patentiert wurde, Rohre in einem kontinuierlichen Scheiben- oder Tonnenwalzwerk ohne Kaliber auszuwalzen, ist aus technischen Schwierigkeiten nicht in die Praxis umgesetzt worden. Heute hat das kontinuierliche Röhrenwalzen lediglich noch praktische Bedeutung in den sogenannten Reduzierwalzwerken gefunden.

Wie bereits erwähnt, können mit den heute angewendeten Rohrwalzverfahren in direkter Walzung nur Rohrdurchmesser von ca. 50—600 mm hergestellt werden. Nahtlose Rohre unter 50 mm Durchmesser mit nicht geringerer Wandstärke als 3 mm werden nun aus Rohren größerer Abmessung auf der Warmziehbank oder, falls es sich um größere Rohrmengen gleicher Abmessung handelt, in Reduzierwalzwerken auf die verlangten Durchmesser reduziert. Die Reduzierung durch Walzen ist wesentlich billiger als durch Warmziehen. Gorol [17]) gibt die Gestehungskosten für das Reduzieren durch Walzen auf 1"-Gasrohre zu nur 50 % der Kosten an, die beim Warmziehen anfallen. Die Reduzierwalzwerke bestehen ähnlich den kontinuierlichen Walzwerken aus einer Zahl von Walzgerüsten (in diesem Fall ca. 10—20 Gerüste), deren fliegende Walzenachsen abwechselnd einen Winkel von 90° zueinander bilden. Die kontinuierlich hintereinander liegenden Walzgerüste mit abnehmendem Kaliberdurchmesser werden gemeinsam von einem Motor über Zahnradübersetzungen angetrieben, wobei die im Kaliberdurchmesser abnehmenden Walzen entsprechend der Streckung des Walzgutes immer rascher laufen. Die Mehrzahl der Reduzierwalzen ist so gebaut, daß alle Walzen angetrieben sind und die zueinander senkrecht stehenden Walzebenen einen Winkel von 45° mit der horizontalen Ebene bilden. Bei einem um 1903/04 entstandenen, aber weniger gebräuchlichen Typ, bei dem die fliegend angeordneten Walzenpaare abwechselnd horizontal und vertikal zur Grundebene stehen, sind nur die Vertikalen Walzenpaare über ein starres Vorgelege angetrieben, während die horizontalen Walzen als Schleppwalzen lose mitlaufen.

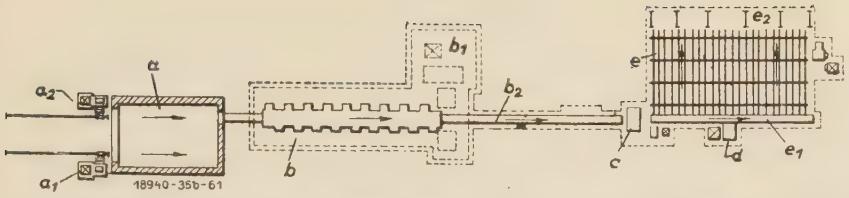
---

[17]) Gorol: Die Kalibrierung der Reduzierwalzen für nahtlose Rohre. St. u. E. 51.



Schema eines Reduzierwalzwerks.

Schema des Stoßbankverfahrens nach Ehrhardt. a Hohlbock; b Stoßdorn; d Schaftstange (Verlängerung der Zahnstange); c und e Führungen des Schaftes und des Dorns; f Ziehringbett; g Ziehringhalter mit Ziehring. (Zu S. 64.)



Lageschema einer Rohr-Reduzieranlage. a Nachwärmofen; b Reduzierwalzwerk; b_2 Rollgang; c Richtmaschine; d Heißeisensäge; e Kühlrost.

Ein neueres von H. Stüting (D. R. P. Nr. 366 710 und 376 787) entwickeltes Verfahren bedient sich statt der Zweiwalzenkaliber der Vierwalzenkaliber. Bei dieser Ausführung sind die Kaliber abwechselnd um 45° versetzt; sie werden alle über Vorgelege angetrieben.

Die Schwierigkeit der Reduzierwalzwerke liegt in der richtigen Kalibrierung und der dieser entsprechenden Geschwindigkeitsregulierung jedes einzelnen Gerüstes, um Zerrungen und Stauchungen des durchgehenden Werkstückes auf ein Mindestmaß zu beschränken. Die im Reduzierwalzwerk fertig gewalzten Rohre zeigen in der Regel an den Enden örtliche Wandstärkenverdickungen und in der Rohrmitte eine Wandstärkenschwächung. Die Wandstärkenzunahme ist dadurch zu erklären, daß der Stoff des hohlen Werkstücks beim Reduzieren viel leichter nach dem Innern zu fließt als in die Länge, weil der Widerstand in radialer Richtung, da weniger Material zu verdrängen ist, viel geringer als in achsialer Richtung ist. Deshalb ist es nicht möglich, wie bei dem Walzen voller Querschnitte, die Verformung rechnerisch im Voraus zu erfassen und die Querschnittsverformung dementsprechend eintreten zu lassen. Hinzu kommt noch der sich durch die größere Zahl der Kaliber und deren verschiedene Reibung mit dem Werkstück unterschiedlich gestaltende Geschwindigkeitsüberschuß. Dieser sollte theoretisch in allen aufeinanderfolgenden Kalibern gleich sein, um die — bei der im Kaliber erfolgenden Rohrquerschnittsverengung — einsetzende Wandstauchung durch gleichmäßige Zugbeanspruchung zu vermindern oder aufzuheben.

Bei den normalen Reduzierwalzwerken sucht man der Wandstärkenvergrößerung in der Praxis meist dadurch zu begegnen, daß man die Wandstärke der zu reduzierenden Rohre von vornherein schwächer walzt, als sie für die fertigen Rohre sein soll. Bei einer Reduzierung um 25 mm muß im Mittel mit 0,5 mm Wandstärkenzunahme gerechnet werden. Unter Benutzung dieser Erfahrungszahl lassen sich die zu walzenden Rohre so dimensionieren, daß ihre Fertigmasse nach der Reduzierung innerhalb der für Gas- und Dampfrohre zulässigen Abweichungen von 15 % in der Wandstärke entsprechend dem Norblatt DIN 1692 liegen.

In der neuesten Zeit ist man zur möglichst weitgehenden Vermeidung der Nachteile der ungleichen Wandstärkenverdickung auch dazu übergegangen, die vielen Gerüste eines Reduzierwalzwerks in eine Anzahl von Gruppen mit wenigen Gerüsten zu trennen und die Gruppen selbst in größeren Abständen hintereinander aufzustellen, damit die Rohre entweder zwischen den Gruppen ganz frei sind oder auf einem großen Teil ihrer Länge frei auslaufen können.

Die Reduzierwalzwerke dienen heute hauptsächlich zur Herstellung von nahtlosen Gas- und Dampfrohren von $^1/_4$" bis 2" Durchmesser; ihre Leistung in der Stunde beträgt je nach der Abmessung 100 bis 300 Rohre von je 6—8 m Länge.

7. Sonderwalzverfahren für große Rohre nach Roeckner[18]).

In den letzten Jahren ist von Dipl.-Ing. Martin Roeckner in Mülheim a. d. Ruhr ein Sonderwalzverfahren zur Herstellung dickwandiger Rohre großer Durchmesser entwickelt worden, das gestattet, nahtlose Kesselschüsse, Hohlkörper und Rohre größeren Durchmessers für hohe Innendrücke, die bisher — des hohen Einsatzgewichtes halber — nahtlos geschmiedet werden mußten, aus gegossenen Hohlblöcken in einem Arbeitsgange herzustellen.

Als Ausgangswerkstücke dienen an der Innen- und Außenoberfläche abgedrehte Hohlblöcke, die in einem Walzgerüst durch an einem Ende des Blocks am Umfange innen und außen angreifende Walzenpaare kontinuierlich fertiggewalzt werden. Je nach dem Umfang des Hohlblocks sind 4, 5 oder mehr Walzen in einem ringförmigen Gerüst, das man sich als ein ins Große übertragenes Rollenlager vorstellen kann, eingebaut. Diese Walzen — die Oberwalzen - sind über ein Kammwalzgerüst angetrieben und greifen auf der Außenoberfläche des Blockes an, während die den Oberwalzen gegenüberstehenden Unterwalzen, die auf einem Dorn, der in das Innere des Hohlblockes reicht, angeordnet sind, nur als Schleppwalzen mitlaufen. Ober- und Unterwalzen stehen schräg zur Achse des Hohlblocks, wodurch der Block, nachdem er von den Walzen gefaßt ist, schraubenförmig zwischen sie hindurchgezogen wird. Die Walzen sind so kalibriert, daß das erste Walzenpaar eine Rille von bestimmter Breite von innen und außen in den Mantel des Hohlblocks drückt, die schraubenlinienförmig vorwärts getrieben wird und einen Teil der Blockwandstärke nach dem Anfange des Blockes zu stehen läßt. Das zweite Walzenpaar, das je nach der Zahl der Walzen versetzt – bei 4 Walzen z. B. um ein Viertel des Umfanges versetzt — in die Eindrücke des ersten Walzenpaares eingreift, verbreitert durch seine Kalibrierung die eingedrückte Rinne des ersten Paares, das dritte Walzenpaar die des zweiten usw. bis nach dem Passieren des letzten Walzenpaares die von den ersten Walzen stehengebliebene Verdickung, die ohne das Arbeiten der übrigen Walzen schraubenlinienförmig als Wulst um den Mantel laufen würde, glatt ausgestreckt ist. Die Streckung des Walzguts erfolgt also im Gegensatz zu den gewöhnlichen Walzwerken nicht in der Walzrichtung, sondern in der Hauptsache senkrecht zu dieser, wobei die Durcharbeitung des Werkstoffes gleichmäßig von der Innen- und Außenoberfläche aus nach der neutralen Faser der Wand zu erfolgt. (Die Arbeitsweise des Verfahrens ist aus dem nachstehenden Schema zu ersehen.)

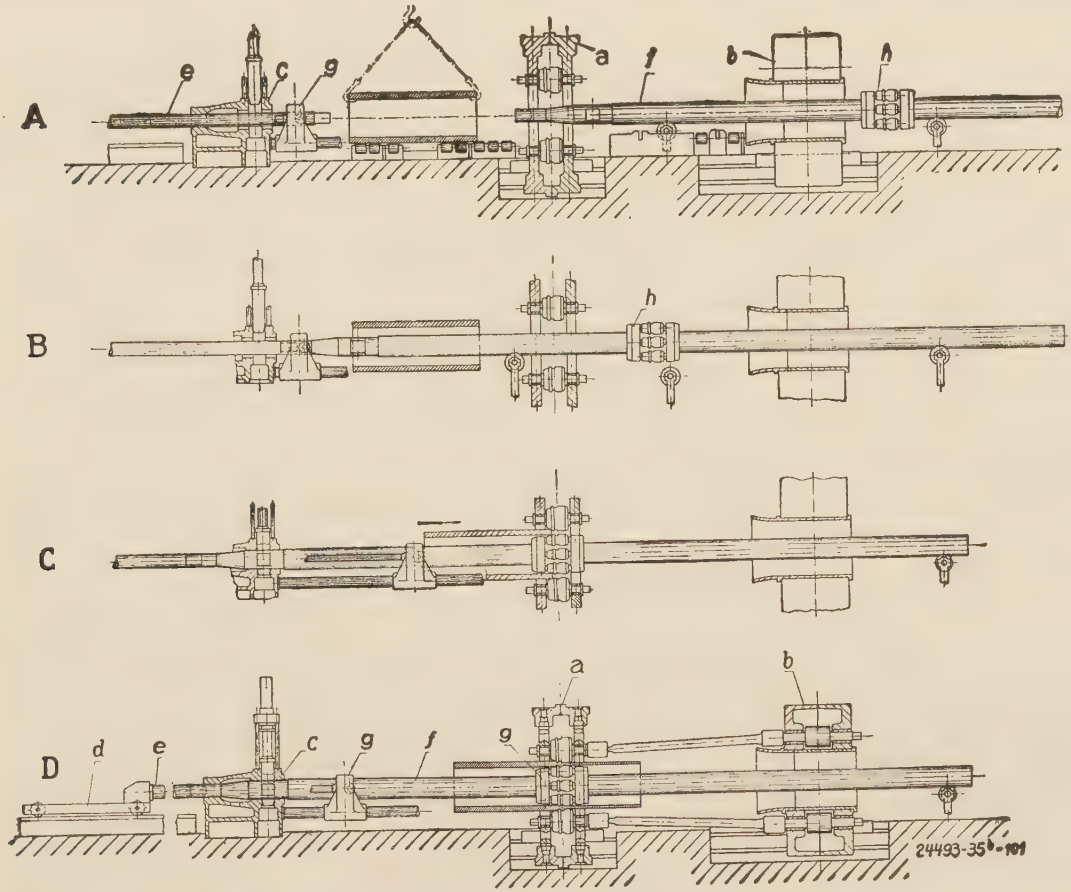
Der Hohlblock erhält nach diesem Verfahren in einem Walzendurchgang die gewünschte Wandstärke und Abmessung. Zur Glättung der Oberflächen und Nachkalibrierung der Maße wird das fertige Rohr jedoch in der Regel noch einer Walzung unterzogen, wobei anstelle der Kaliberwalzen Glättwalzen in das Gerüst eingebaut sind.

Mit dem Verfahren hat Roeckner erstmalig die Möglichkeit der Massenherstellung großer, dickwandiger, nahtloser Rohre aus Kohlenstoff- und legierten Stählen der verschiedensten Festigkeit von ca. 800 mm bis 1800 mm im Durchmesser bei Wandstärken von 20 bis 70 mm und für Längen bis zu 12 m geschaffen. Die Walzzeit eines Rohres von 1075 mm Durchmesser, 70 mm Wandstärke und 5 m Länge wird von Roeckner mit etwa 6 min. angegeben. Hieraus geht die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens gegenüber dem bisher für nahtlose Rohre solcher Abmessungen erforderlichen Schmiedeverfahren, das außer dem Schmiedevorgang meist noch ein teueres, nachträgliches Abdrehen der Rohroberflächen, wobei ca. 50 % des eingesetzten Blockgewichts außerdem verloren gehen, erfordert, ohne Weiteres hervor.

b) Preß- und Walzverfahren: Ehrhardt-Verfahren.

Neben dem Mannesverfahren, das infolge seiner großen Reklame mit Unrecht in vielen Kreisen als das einzig moderne und wirtschaft-

[18]) Vgl. St. u. E., 1933, S. 1101—1105.



Einsetzen des gegossenen Hohlblocks bei zurückgeschobener Schaft- und Kuppelstange.

Vorschieben der Schaftstange mit den Innenwalzen.

Der Hohlblock wird ins Walzgerüst geschoben; die Schaftstange ist im Gegenlager verankert.

Auswalzung des Hohlblocks.

Schema der Arbeitsweise des Rödner-Rohrwalzverfahrens. a Walzgerüst; b Kammwalzgerüst; c Gegenlager; d Vorschiebewagen für Kuppelstange e und Schaftstange f; g Einstößer; h Dornkopf mit Innenwalzen.

liche Rohrwalzverfahren angesprochen wird, hat sich das ehemalige Preßverfahren nach Ehrhardt, wenigstens soweit es sich um Rohre bis 140 mm äußeren Durchmessers handelt, als dem Mannesmannverfahren gleichwertig weiterentwickelt.

Bereits in der Mitte des vorigen Jahrhunderts hatten englische Ingenieure den Wert nahtloser Rohre für die Fortentwicklung der Technik erkannt und entsprechende Arbeitsverfahren zu entwickeln versucht. Besonders der Gedanke, Hohlzylinder ohne Naht aus Eisen durch Eindrücken oder Einschrauben von spitzen Dornen in massive Arbeitsstücke herzustellen, hat in England zu mancherlei Arbeitsmethoden geführt, die jedoch an dem Fehlen oder dem unzulänglichen Vorhandensein von Kraftübertragungsmitteln und modernen technischen Hilfsmitteln scheiterten oder nicht zur Bedeutung kamen. Erst zu gleicher Zeit mit dem Aufkommen des Schrägwalzverfahrens nach Mannesmann wurde von dem englischen Ingenieur James Robertson aus Glasgow ein Rohrpreßverfahren entwickelt, das praktische Anwendung fand. Robertson trieb einen zugespitzten und sich rasch drehenden Dorn durch einen von zwei langen halbzylindrischen Backen umschlossenen Metallblock, wobei das aus der Blockmitte verdrängte Material seitlich und vorwärts gedrückt wurde und ein Rohrzylinder entstand. Die Vorwärtsgeschwindigkeit des Dorns war mit nicht unter 80 - 100 mm pro Minute vorgeschrieben. Der Antrieb geschah der leichten Regulierung halber hydraulisch oder durch den Kolben einer Dampfmaschine. Auf dieses Verfahren und seine Vorrichtungen erhielt Robertson 1885 das deutsche Reichspatent Nr. 36 814. Die Einrichtungen und Vorrichtungen dieses Verfahrens wurden verschiedentlich nach der Richtung, aus massiven, weißglühenden Stahlstücken direkt Röhren herzustellen, verbessert. Im deutschen Reichs-Patent Nr. 81 549 vom Jahre 1892 vervollkommnete der Erfinder das Verfahren dadurch, daß nach beendetem Lochungsprozeß das glühende Werkstück mittels Druckwassers derart abgekühlt wird, daß es schrumpft und dadurch leicht aus der Matrize ausgestoßen werden kann. Durch allmähliche Verbesserung der Vorrichtungen hat Robertson schließlich sein Verfahren praktisch ausführbar gemacht und gute Erzeugnisse damit geliefert. Das Verfahren krankte jedoch von vorneherein an dem erforderlichen großen Kraftbedarf. Die Verminderung dieses Kraftbedarfs erreichte nun Dr. Georg Walz in Heidelberg dadurch, daß er beim Lochen des Rundblocks diesem durch entsprechende Konstruktion der Matrize und der Presse die Möglichkeit gab, einen größeren Durchmesser anzunehmen, als der Block ursprünglich hatte. Die Ausführung dieser Idee reduzierte zweifellos den erforderlichen Lochungsdruck auf einen Bruchteil von dem, der nötig war, um die Lochung bei gleichbleibendem Blockdurchmesser durchzuführen. Andererseits blieben aber die Wandstärken des Hohlzylinders entsprechend stärker, sodaß also das, was beim Lochen an Kraft gespart wurde, bei der Weiterverarbeitung zu normalen Rohrwandstärken wenigstens zum Teil wieder neu aufgewendet werden mußte. Immerhin bedeutete das Verfahren bezüglich Kraftersparnis einen gewissen Fortschritt; es wurde von R. M. Daelen, Düsseldorf (D. R. P. Nr. 92179) konstruktiv weiterentwickelt und zwar besonders in der Richtung einwandfreier Führung und zentrischer Lochung des Blockes. Ueberhaupt bestanden bezüglich der einwandfreien zentrischen Lochung der Rundblöcke Schwierigkeiten, denen man durch die verschiedensten Matrizen- und Dornführungskonstruktionen zu begegnen suchte. Als Kraftübertragung beim Lochungsprozeß wurde in der Mehrzahl der Fälle der Druckwasserantrieb in Form hydraulischer Pressen bevorzugt. Aber auch der Dampfhammer wurde zum Lochen von Blöcken herangezogen, z. B. beim Gorenson-Prozeß, der in Schweden eingeführt wurde, bei dem der Block kein Rundblock zu sein braucht und zu dessen Lochung keine Matrize benötigt wird. Die Angleichung der ungleichen Wandung an den lichten Durchmesser des Rohres wird bei diesem Verfahren durch Walzen mittels Kaliber-

walzen oder durch Querwalzwerke mit Zylinderwalzen erreicht. In Deutschland ist dieses Verfahren nicht zur Anwendung gekommen.

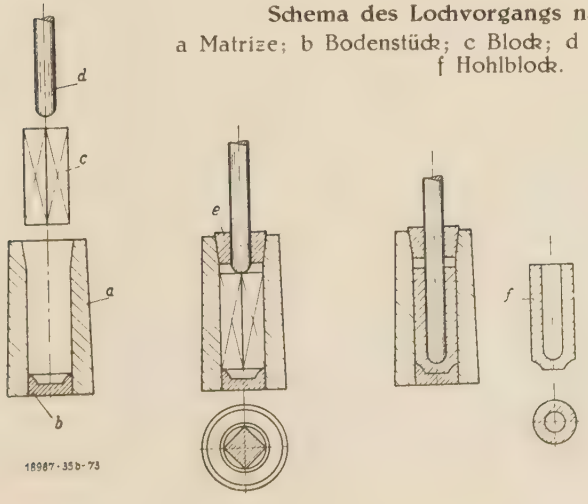
Wie erwähnt, krankten die beschriebenen Preß- und Lochverfahren alle an dem verhältnismäßig hohen Kraftbedarf und an den Schwierigkeiten einwandfreien, zentrischen Lochens. In den meisten Fällen wurden runde Blöcke in zylindrische Matrizen, deren innerer Durchmesser gleich dem Blockdurchmesser war, eingesetzt und durch einen geführten Dorn durchlocht. Beim Eindringen des Dorns mußte das verdrängte Blockmaterial ausweichen. Die Ausweichung konnte aber nur in der der Dornbewegung entgegengesetzten Richtung erfolgen, sodaß der entstehende Hohlzylinder länger als der eingesetzte Block wurde. Dies bedingte:

1. eine ungeheure Reibungsarbeit im deformierten Material und in der Matrizenwand und dementsprechend den hohen Kraftaufwand und
2. Schwierigkeiten in der zentrischen Führung des Lochstempels, die für Blocklängen von mehr als 500 mm nie einwandfrei überwunden wurden.

Mit diesen Problemen beschäftigte sich auch Heinrich Ehrhardt, der spätere Erfinder des Rohrrücklaufgeschützes, der in Düsseldorf die Erzeugung von Hohlkörpern für Panzergranaten, Schrapnells und Kartuschen aufgenommen hatte. Ehrhardt erkannte die Fehler des bisherigen Verfahrens und löste das Problem in genialster Weise; er setzte statt eines runden Blockes einen Block von quadratischem Querschnitt, dessen Diagonale gleich dem inneren Durchmesser der runden Matrize war, in die Matrize ein, sodaß die vier Kanten des Blocks an der Matrizenwandung anlagen. Dadurch erhielt das durch den eindringenden Lochstempel verdrängte Material Gelegenheit, seitlich auszuweichen. Der geringstmögliche Kraftbedarf wurde dadurch erreicht, daß die Abmessung des Lochstempels so gewählt wurde, daß das von ihm verdrängte Blockmaterial die vier Räume von segmentartigem Querschnitt zwischen Block und Matrizenwand ausfüllte. Der Durchmesser des Stempels mußte also folgenden Bedingungen genügen:

$$\frac{d^2\Pi}{4} = \frac{D^2\Pi}{4} - s^2,$$

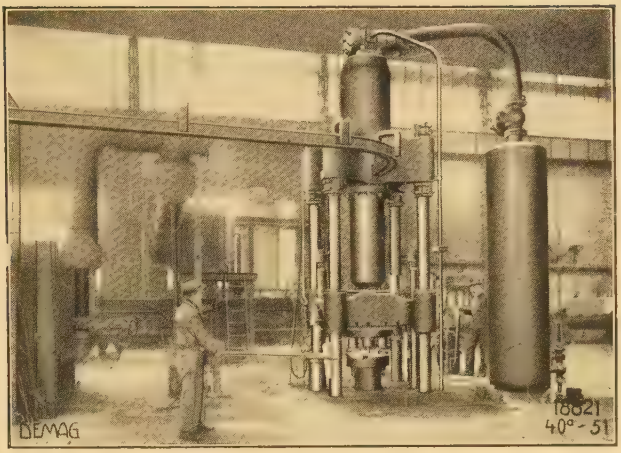
wobei D dem lichten Matrizendurchmesser, d dem Lochstempeldurchmesser und s der Seitenkantenlänge des Vierkantblocks entspricht.



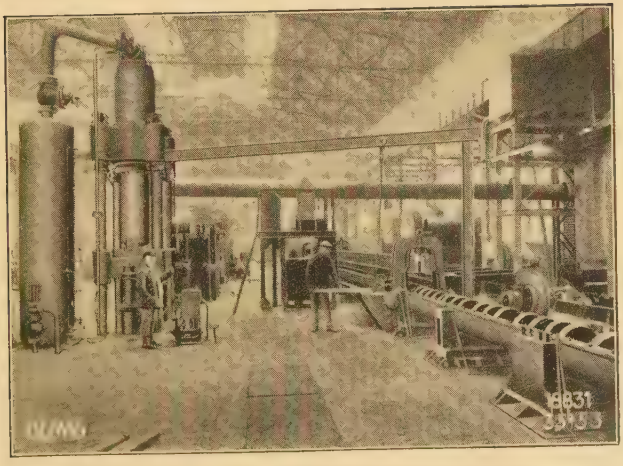
Schema des Lochvorgangs nach Ehrhardt.
a Matrize; b Bodenstück; c Block; d Lochdorn; e Führung; f Hohlblock.

Bei Erfüllung dieser Bedingung brauchte das Blockmaterial beim Lochen nicht mehr der Stempelbewegung entgegenzusteigen; der Hohlblock behielt dieselbe Länge, die der Massivblock besessen hatte und die kraftverschluckende Reibungsarbeit fiel weg. Mit der Anwendung dieses im Jahre 1891 in Deutschland unter Nr. 67430 und 67921 patentierten Verfahrens gelang es Ehrhardt, den Kraftbedarf beim Lochen auf ungefähr den vierten Teil der beim Lochen von Rundblöcken erforderlichen Kraft herabzumindern. Mit der Kraftreduzierung wurden erklärlicherweise auch die übrigen maschinellen Schwierigkeiten geringer, sodaß das Verfahren bald zu wirtschaftlicher Blüte kam. Das Ehrhardtsche Lochverfahren wurde nicht nur zur direkten Röhrenfabrikation, sondern in horizontalen und vertikalen hydraulischen Pressen zur Herstellung größter und kleinster Hohlkörper aus Vierkantblöcken angewandt. In den von Ehrhardt gegründeten Werken der Rheinischen Metallwaaren- und Maschinenfabrik, Düsseldorf und dem Preß- und Walzwerk, Reisholz bei Düsseldorf wurden nahtlose Kesselschüsse, Lokomotivmäntel, Windkessel, Pumpenzylinder, Kolben, Schiffsmaste, Behälter für gespannte Gase wie u. a. Preßluft-, Kohlensäure- und Sauerstoff-Flaschen, Granaten, Schrapnells und Kanonenrohre, Geschützseelen, nahtlose Rohre etc. hergestellt. Im besonderen Maße hat sich das Verfahren um die Landesverteidigung Verdienste erworben. War es doch erst mit Hilfe der Ehrhardtschen Hohlkörpererzeugung möglich, Granaten und Schrapnells als Massenerzeugnis wirtschaftlich herzustellen. Das Verfahren wurde von allen Kulturstaaten der Welt in Lizenz übernommen und hat damit wesentlich zur finanziellen Stärkung der deutschen Industrie und damit Deutschlands überhaupt beigetragen.

Das Ehrhardtsche Lochverfahren wurde von dem Erfinder in konsequenter und beharrlicher Weise für die Herstellung nahtloser Rohre weiter durchgebildet. Zur Rohrfabrikation wurden die Vierkantblöcke in der oben beschriebenen Weise gelocht. Der Stempel wurde aber nur soweit in den Block eingetrieben, daß der entstehende Hohlzylinder noch einen festen Boden behielt. Dieses fingerhutartige Lochstück wurde in derselben Hitze in einer horizontalen hydraulischen Presse auf Rohrdimensionen ausgezogen. In der Presse wurde durch den Kolben ein dem verlangten lichten Rohrdurchmesser entsprechender zylindrischer Dorn in die Höhlung des Lochstückes geschoben und dieses beim Vorwärtsdrücken des Kolbens mit einem Hub durch eine Reihe in ihrem Durchmesser immer kleiner werdender, in bestimmten Abständen hintereinandersitzender Ziehringe aus Hartguß oder gehärtetem Stahl gedrückt. (Siehe Schema S. 58.) Bei diesem Vorgang wurde der dickwandige Hohlkörper über den Dorn gestreift bis zur Erreichung der gewünschten dünneren Rohrwandstärke. Nach Durchstoßen des letzten Ziehringes wurde das fertige Rohr durch Zangen oder Abstreifer festgehalten, während der Dorn wieder rückwärts herausgezogen wurde. Das Herausziehen des Dorns setzte den auf diese Weise erzeugten Rohren bezüglich ihrer Länge und der erreichbaren Mindestwandstärke eine bestimmte Grenze durch die Gefahr des Festschrumpfens der rascher als der Dorn abkühlenden Rohrwandung. Aus diesem Grunde konnte eine maximale Rohrlänge von 4 m nicht überschritten und die Wandstärke nicht unter 4,5 bis 5 mm verringert werden. Wurden dünnere Wandstärken oder größere Rohrlängen verlangt, so wurden die auf die beschriebene Weise erhaltenen Rohre nach Abtrennung des noch vom Lochen her vorhandenen festen Bodens auf Duowalzwerken oder in kontinuierlichen Walzwerken auf die gewünschten Abmessungen weitergewalzt. Wurden die Rohre zur Weiterverarbeitung auf Kaltziehbänken benötigt, so diente der noch vorhandene feste Boden als Material für die hierzu erforderliche Ziehangel. Der Boden wurde dann in der Regel noch in derselben Hitze direkt nach dem Herausziehen des Dorns auf mechanischen Hämmern zu einer Ziehangel ausgeschmiedet.



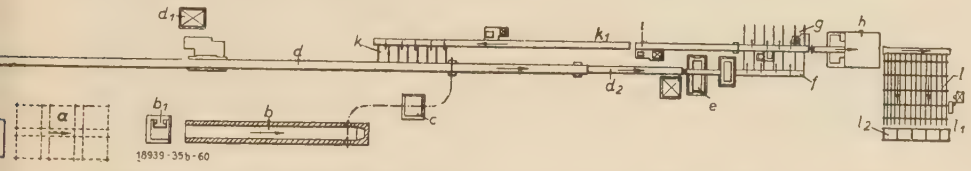
Hydraulische Lochpresse für Ehrhardt-Verfahren.



Stoßbankanlage. Ziehringbett der Stoßbank, Hängebahn zum Transport der Lochstücke und hydraulische Lochpresse.

Mit diesen hydraulischen Rohrpreßanlagen konnte die Erzeugung an Kesselrohren von ca. 50 mm Durchmesser bereits in den Jahren 1905—1908 in zwölfstündiger Schicht auf ca. 900 Rohre von ca. 4 m Länge gebracht werden.

Eine bedeutende Leistungssteigerung wurde in den Jahren nach dem Weltkrieg erzielt durch entsprechende Kombination des Ehrhardtverfahrens mit inzwischen entwickelten anderen Rohrwalzelementen und durch den Uebergang auf direkten elektrischen Antrieb der Rohrziehpressen, der erst durch die von Carl Ilgner[19]) eingeführte Leonardschaltung möglich geworden war und in den Walzwerken den bisherigen Dampfantrieb immer mehr verdrängte. Der Antrieb der Rohrziehpressen konnte nun durch einen elektrischen Motor über ein Ritzel auf eine Zahnstange, die den Stoßdorn vor- und rückwärts beförderte, erfolgen. Die hydraulischen Rohrziehpressen wurden so allmählich zu den heutigen modernen Rohrstoßbänken (oft auch Zahnstangenstoßbänke genannt) umgebildet.



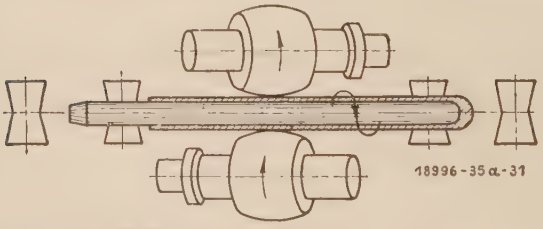
Lageschema einer Rohrstoßbankanlage nach Ehrhardt. a Blocklager mit Blockschere; b Stoßofen mit Blockdrücker b_1; c Lochpresse; d Rohr-Stoßbank mit elektr. Antrieb d_1; e Glättwalzwerk; f Querrollbahn; g Heißeisensäge; h Maßwalzwerk; i Dornausziehbank; k Stoßdorn-Sammelrost; l Kühlbett mit Rohrsammellager l_1.

Die moderne Ehrhardt-Rohrstoßbank hat, wie bereits erwähnt, die Aufgabe, die von der hydraulischen Lochpresse kommenden fingerhutförmigen Hohlstücke in derselben Hitze zu einem Rohr auszustoßen. Der Gang des Verfahrens bis zum Stoßbankprozeß einschließlich ist folgender: Das Ausgangsmaterial, in Blockwalzwerken gewalzte Vierkantknüppel von 80 bis zu ca. 170 mm im Quadrat, wird auf einer Blockschere oder Säge in Blöcke von 250 bis 600 mm Länge, die die Rohrlänge ergeben, unterteilt. Die Blöcke durchwandern hierauf einen Stoßofen, in dem sie gut und durch mehrmaliges Kanten gleichmäßig auf Walztemperatur gebracht werden, worauf sie in der oben beschriebenen Weise in einer hydraulischen Lochpresse zu fingerhutförmigen Lochstücken gelocht werden. Das Lochstück wird darauf aus der Matrize ausgestoßen und auf den Stoßdorn der Rohrstoßbank gesteckt. Der von der Zahnstange angetriebene Stoßdorn ist etwas länger als die verlangte Rohrlänge und drückt das Hohlstück durch ca. 5—12 Ziehringe, die mit abnehmender Bohrung versehen sind und in der Regel in solchen Abständen voneinander in den Aussparungen eines Ziehringbettes sitzen, daß jedesmal nur gerade ein Ring arbeiten kann. Die Wandstärke und der äußere Durchmesser des Lochstückes wird so in einem Durchgang allmählich verringert, der Hohlblock über den Stoßdorn gestreift, bis nach dem Verlassen des letzten Ziehrings das Rohr die verlangten Abmessungen besitzt. Dabei ist die durch die Ziehringe erfolgende Verringerung des jeweiligen Querschnitts ausschlaggebend zum Gelingen guter Rohre. In den beiden ersten Kaliberringen darf die prozentuale Querschnittsverringerung wegen der Gefahr des Durchstoßens des Bodens nur ca. 15 % betragen, während sie bei den übrigen Ringen bis auf 28 % des vorhergehenden Quer-

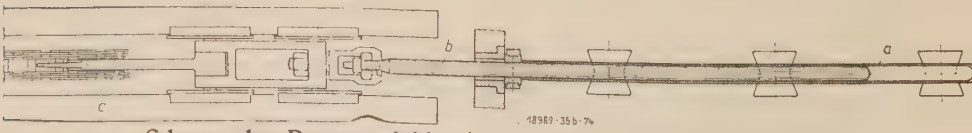
[19]) Die Schwierigkeit des Problems des elektrischen Antriebes von Umkehrwalzwerken löste Carl Ilgner 1902 durch Anwendung der Leonardschaltung. Die erste Walzenstraße mit Ilgner-Antrieb wurde 1906 auf der Hildegardhütte in Trzynietz in Betrieb genommen.

schnitts steigen darf. In der Regel wird im letzten Ring wegen der dort schon vorliegenden schwächeren Wandstärke wieder eine etwas geringere Abnahme angewandt. Die möglichste Unveränderlichkeit der Durchmesser dieser Ziehringe beim Stoßprozeß, wobei sie einer sehr erheblichen Reibung ausgesetzt sind, ist im Interesse einer störungslosen Produktion unbedingt anzustreben. Ihr Durchmesser muß daher vom Bedienungspersonal ununterbrochen nachgemessen werden, da schon kleinere Abnutzungen Ausschuß und damit längere Betriebsstörungen bedeuten können. Diese Ringe, die früher aus Grauguß, dann aus Hartguß oder gehärtetem Stahl hergestellt wurden, sind in den letzten Jahren durch geeignete Legierungen wesentlich in der Haltbarkeit verbessert worden. Recht gute Erfahrungen liegen vor mit Gußringen aus Chrom-Wolfram-Legierungen und mit Kobaltlegierungen (Akritziehringe), die oft nach dem Durchgang von tausend und mehr Rohren noch keinerlei Abnutzung zeigen.

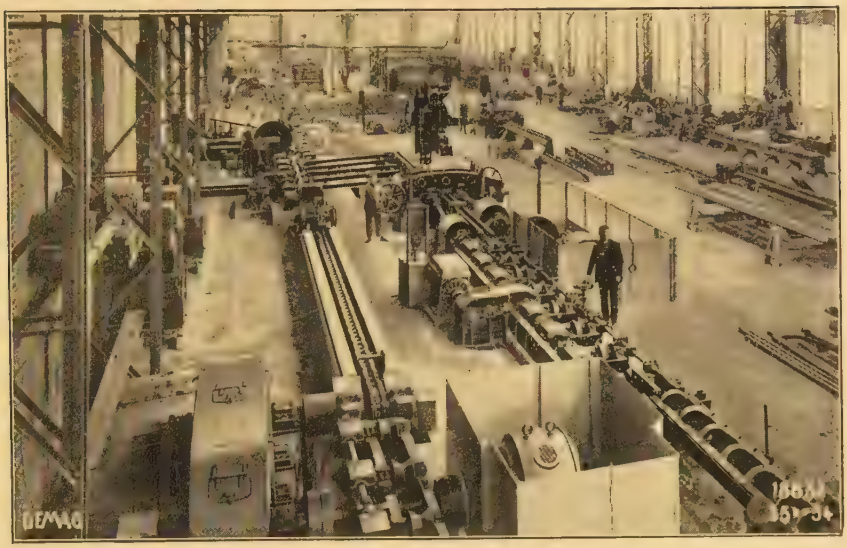
Eine glückliche Kombination ist durch die Zuschaltung eines Glättwalzwerks hinter die Stoßbank entstanden. Dadurch ist das Abstreifen des Rohres vom Stoßdorn überflüssig und der vorherige Mangel bezüglich der erreichbaren Rohrlängen und Wandstärken beseitigt worden. Die Stoßdorne brauchen keine feste Verbindung mehr mit der antreibenden Zahnstange zu haben, sondern sind frei und werden nur beim Stoßvorgang durch einen die Zahnstange verlängernden Schaft vorwärts durch die Ziehringe gestoßen. Nach dem Durchgang durch die Ziehringe und während die Zahnstange mit Schaft wieder rückwärts läuft, gelangt der Dorn mit dem darübergezogenen Rohr in das Glätt- oder Lösewalzwerk. Dieses Walzwerk besteht aus zwei zur durchgehenden Rohrachse um einige Grad geneigten, im gleichen Sinne sich drehenden Walzen, zwischen denen das Rohr mit Dorn entsprechend dem Mannesmannprinzip in eine umlaufende und gleichzeitig schraubenförmige, vorwärtsrollende Bewegung gebracht wird. Hierbei wird das Rohr im Durchmesser etwas aufgeweitet und seine äußere Oberfläche etwas nachgeglättet. Nach dieser Operation kann der Dorn mühelos aus dem Rohr herausgezogen werden, was in der Regel durch eine direkt neben dem Glättwalzwerk angeordnete sogenannte Dornausziehbank, d. h. eine Ziehbank mit umlaufender endloser Kette, und Zangenwagen geschieht. Der Dorn wandert daraufhin über mechanisch angetriebene Rollgänge zu neuer Verwendung an seine Ausgangsstelle, einem Sammelrost an der Rohrstoßbank, zurück. Das Rohr, das an einer Seite noch den geschlossenen Boden hat, läuft ebenfalls über Rollgänge zur Weiterverarbeitung, die im Absägen der beiden Enden durch eine pendelnde Heißeisensäge oder auch im Ausschmieden des geschlossenen Endes für die Weiterverarbeitung in der Kaltzieherei bestehen kann. Die durch die Stoßbankoperation direkt gebrauchsfertig gestoßenen Rohre passieren zur genauen Kalibrierung ihres äußeren Durchmessers noch ein Maßwalzwerk und eine Richtmaschine.



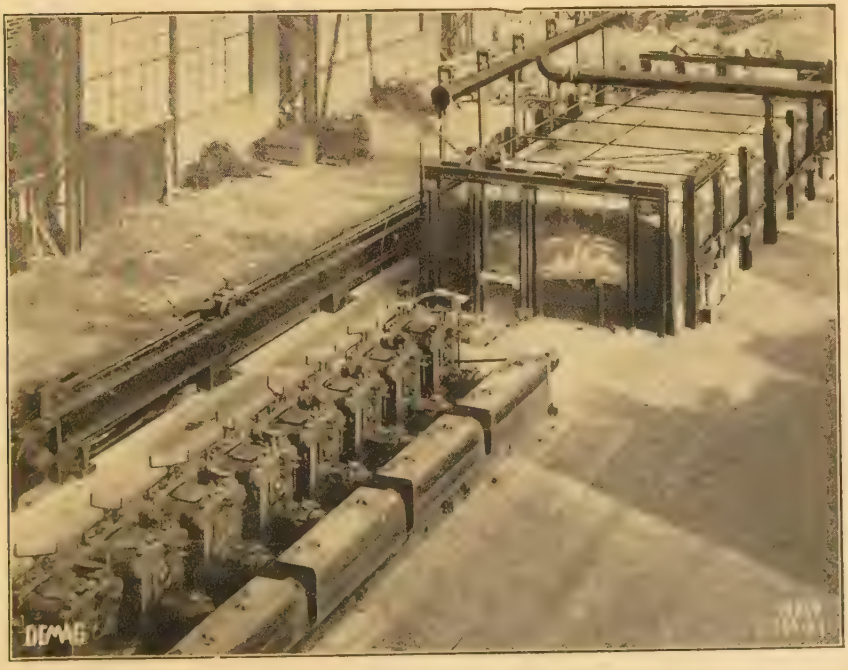
Schema des Glatt- und Lösewalzwerks



Schema der Dornausziehbank. a Rohr; b Stoßdorn; c Ziehbank.



Stoßbankanlage. Rechts: Ziehringbett und Glättwalzwerk; links Dornausziehbank, Warmsäge und Maßwalzwerk.



Reduzierwalzwerk mit Nachwärmofen (links Warmziehbank).

Das modernisierte Ehrhardt-Stoßbankverfahren ist zur Herstellung für Rohre bis zu etwa 160 mm Durchmesser und bis zu 7 m Länge geeignet. Die dünnste im Stoßprozeß direkt erzeugte Wandstärke beträgt ebenso wie beim Pilgerverfahren oder im Duowalzwerk 2,5—3 mm; die maximale Leistungsfähigkeit liegt etwa bei etwa 150 Rohren pro Stunde und Stoßbank.

Die großen Vorteile des Ehrhardtverfahrens bestehen:

1. in der Einfachheit und Uebersichtlichkeit der erforderlichen Anlage, die bei hohen Leistungszahlen nur eine verhältnismäßig geringe Wartung erfordert,
2. in der Unkompliziertheit der Verarbeitung des Werkstoffs.

Der Werkstoff der Ausgangsblöcke wird im Gegensatz zu den diversen Schrägwalzverfahren beim Verarbeiten weniger kompliziert beansprucht, da durch das Wegfallen jeder spiraligen Verzerrung die Gefahr einer Gefügelockerung und eines fransigen Aufreißens der Oberflächen vermieden ist. Man kann daher auf den Rohrstoßbankanlagen jedes an sich gesunde Material, vom Thomas- und Bessemerstahl an bis zu nichtrostenden, hochlegierten Stählen, die oftmals gegen Warmverformung recht empfindlich sind, zu Rohren auswalzen. Das Verfahren hat sich in Deutschland nicht nur zur Herstellung von Gas- und Siederöhren, sondern auch von Qualitäts- und Spezialrohren bewährt. Es sei noch erwähnt, daß es heute als einziges Verfahren zur Herstellung von Rohren als Ausgangsmaterial für Kugellager aus legiertem Stahl von ca. 1 % C und ca. 1,5 bis 2,5 % Cr-Gehalt angewendet wird. Diese Rohre — in den Abmessungen von ca. 70—160 mm Durchmesser und 6—25 mm Wandstärke — werden ebenfalls in einer Hitze und einem Arbeitsgang ausgewalzt.

Ein gewisser Nachteil des Ehrhardtverfahrens gegenüber dem kombinierten Schrägwalzen-Pilgerschrittverfahren besteht allerding in der beschränkten Herstellungslänge der Rohre, da auf der Rohrstoßbank bisher nur Rohre bis 7 m Länge gestoßen werden können.

Die Verbindung des Stoßbankverfahrens mit einem Duo-Stopfenwalzwerk kann sich ebenfalls vorteilhaft auswirken, wenn beispielsweise dünnwandige Rohre aus legiertem Material in größeren Längen als 7 m herzustellen sind. Die Stoßbank liefert dann in der ersten Hitze starkwandige Rohre, die nach Wiederanwärmen in Nachwärmöfen im Duo-Stopfenwalzwerk auf dünne Wandstärken und entsprechend größere Längen ausgewalzt werden.

c) Spritzverfahren:

Rohre aus Kupfer, Aluminium und Messing werden bereits seit einigen Jahrzehnten in Deutschland nicht mehr durch Gießen, Walzen und Ziehen, sondern auf hydraulischen Rohr-Strangpressen hergestellt. Nach diesem um die Jahrhundertwende von Alexander Dick entwickelten Verfahren werden runde, massive Metallblöcke zunächst im Lochzylinder der Presse gelocht und in demselben Arbeitsgang anschließend, nachdem der Lochstempel durch einen Anschlag in einer Matrizenöffnung arretiert ist, durch die verbleibende Ringfläche zwischen Matrize und Dorn durch einen Preßstempel zum Rohr ausgepreßt. Je nachdem, ob der Metallblock in einem stillstehenden Preßzylinder mittels des Preßstempels gegen die Matrize oder ob der Block gemeinsam mit dem Recipienten gegen den in die Matrize ragenden und in diesem Falle hohlen Preßstempel gepreßt wird, wobei der Block im Preßzylinder während des Pressens keine Lagenveränderung erfährt, spricht man vom direkten oder indirekten Preßverfahren. Im allgemeinen wird noch nach dem direkten Verfahren sowohl in horizontalen als auch in vertikalen Pressen gearbeitet, ob-

wohl das indirekte Verfahren einen geringeren Kraftbedarf erfordern soll. In den letzten Jahren sind die vertikalen Metallrohrpressen als schnellarbeitende Pressen entwickelt worden, mit denen auch härtere Metallegierungen wie Duraluminium, Mangankupfer, Nickelbronze usw. zu Rohren ausgepreßt werden. Diese Erfolge und die Aussicht auf eine wesentliche Verbilligung der Rohrherstellung durch Einsparen von Arbeitskräften infolge des Wegfalls mancher Zwischenarbeitsgänge bei Rohren kleiner Abmessung und dünner Wandstärke gaben den Anlaß, auch Versuche zur Pressung von Eisen- und Stahlrohren zu wagen, wobei die Stahlblöcke wegen der höheren Warmfestigkeit auf sehr hohe Temperaturen zu bringen waren. Die fabrikationsmäßige Herstellung scheiterte zunächst an der Werkzeugfrage, da kein Stahl in Bezug auf Verschleißfestigkeit den Beanspruchungen bei den recht hohen Temperaturen gewachsen war. Nach dem Kriege wurden diese Versuche in verschiedenen Stahl- und Walzwerken fortgesetzt, wobei auch mechanisch angetriebene Pressen verwendet wurden. Die mechanisch, also über eine Kurbelwelle und Vorgelege elektrisch oder durch eine Dampfmaschine angetriebene Presse wurde erstens wegen der damals gegenüber den üblichen Geschwindigkeiten der hydraulischen Pressen bestehenden Möglichkeit der größeren Geschwindigkeit und zweitens wegen der geringeren Anlagekosten bevorzugt. Sie hat allerdings gegenüber der hydraulisch betriebenen Presse den Nachteil, daß die Stempelbewegung beim Pressen in der Nähe des Totpunktes wesentlich geringer wird und es dazu leicht vorkommen kann, daß sie bei kälter gewordenen oder ungleich erwärmten Blöcken Drucküberschreitungen und damit Zerstörungsgefahren an der Kurbelwelle, den Ständern oder den Getriebeteilen ausgesetzt ist. Durch Einbau hydraulischer oder mechanischer Sicherheitsvorrichtungen kann dieser Gefahr z. T. vorgebeugt werden. Die hydraulisch betriebene Presse dagegen arbeitet vollkommen betriebssicher, da sie bei Erreichung ihres maximalen Preßdrucks einfach ohne Ueberbeanspruchung irgendwelcher Teile stehen bleibt. Außerdem ist die Bewegung der hydraulischen Presse absolut gleichmäßig und die Geschwindigkeit heute ebenfalls auf die der mechanisch angetriebenen Pressen zu steigern.

Die Hauptschwierigkeit beim Pressen oder Spritzen von Stahlrohren liegt nach wie vor in der Werkzeugfrage. Auf diesem Gebiete sind in den Jahren nach dem Kriege durch die Herstellung immer warmfester und verschleißfester werdender Stahllegierungen z. B. Chrom-, Wolfram-Chrom-, Chrom-Nickel-, Kobalt-, Manganstähle usw. wesentliche Fortschritte erzielt worden, die bereits das Spritzen selbst von Rohren aus hochlegierten Stählen fabrikationsmäßig gestatten. Immerhin müssen auch heute noch die Werkzeuge, besonders die Dorne, in bestimmten Zwischenräumen gekühlt werden, wenn sie nicht vorzeitig verschleißen und damit die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens gefährden sollen. Diese Kühlzeit ist maßgebend für die Produktionszahl der in der Zeiteinheit herstellbaren Rohre.

Das Spritzverfahren hat gegenüber allen anderen Verfahren zur Herstellung nahtloser Rohre den Vorzug mittlere und kleine Durchmesser bis zu 2 mm Wandstärke herunter in nur einem Arbeitsgange herstellen zu können bei gleichzeitig geringer Zahl an Bedienungspersonal. Für den Betrieb einer Rohrpresse sind einschließlich des Ofenmannes nur 3—4 Arbeiter erforderlich bei einer Stundenleistung von ca. 40—80 Rohren mittleren Durchmessers. Hinzu kommt noch, daß bei gleicher Qualität der Rohre der entstehende Abfall nicht mehr als maximal 5 % des eingesetzten Blockgewichts betragen soll gegenüber 15—30 % bei den anderen Verfahren.

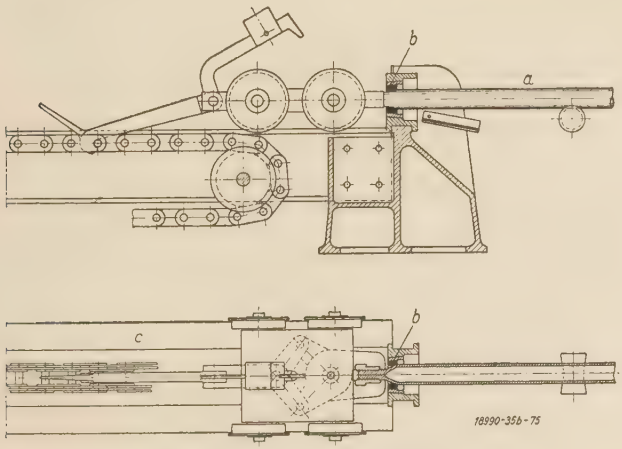
Das Spritzverfahren bietet demnach erhebliche wirtschaftliche Vorteile, die ihm, wenn erst die Werkzeugfrage vollkommen gelöst ist, als Herstellungsverfahren für nahtlose Rohre mittleren und kleinen Durchmessers eine Zukunft versprechen.

d) Ziehverfahren.

1. Das Warmziehen von Rohren.

Auf den Rohrwalzwerken der verschiedenen beschriebenen Verfahren können normalerweise nur nahtlose Rohre von ca. 50—650 mm Durchmesser hergestellt werden. Bestimmte Abmessungen dieser Rohre dienen aber gleichzeitig als Ausgangs- bzw. Zwischenprodukt für die Fabrikation aller Rohre kleineren Durchmessers als 50 mm oder solcher Rohre, deren Durchmesser oder Wandstärke von den allgemein gültigen Normalien abweichen oder weniger gefragt sind. Die Haltung aller Kaliber mit den vielen dazugehörigen Werkzeugen zur direkten Walzung aller Rohrdimensionen ist auch in der Regel den Werken zu kostspielig. Ein Verfahren zur Verringerung der Rohrdurchmesser ist bereits seit Beginn des vorigen Jahrhunderts mit der Einführung des Stumpfschweißverfahrens für Gasrohre auf den Schleppziehbänken bekannt geworden. Dieses Ziehverfahren, wegen der im glühenden Zustand des Werkstücks erfolgenden Verformung „Warmziehen" genannt, wird bis zum heutigen Tag besonders gern für kleinere Mengen oder für Rohre kleineren Durchmessers mit dickerer Wandstärke angewandt.

Als Vorbereitung zum Warmziehen muß das eine Ende des zu ziehenden Rohres zunächst zu einer Ziehangel verjüngt werden, was in der Regel auf einem mechanischen Hammer oder einer Presse geschieht. Hierauf wird das Rohr in einem Wärmofen in seiner ganzen Länge auf Ziehtemperatur gebracht, die bei kohlenstoffarmem Material um 900° C liegt. Nach Erreichung dieser Temperatur wird das Rohr auf der praktisch neben dem Ofen stehenden Ziehbank von einer an einem Schleppwagen befestigten scherenartigen Zange an der Angel erfaßt und mittels der endlos umlaufenden Kette durch einen um einige Millimeter kleineren Ziehring aus Gußeisen oder Hartguß gezogen. Gewöhnlich werden 4 bis 5 Züge hintereinander durch auswechselbare, immer enger werdende Ziehmatrizen in derselben Hitze ausgeführt.



Schema einer Warmziehbank.
a Rohrluppe; b Matrize oder Ziehring; c Ziehbank.

Neuzeitliche Warmziehbänke — auch Kratzbänke genannt — sind zur rationellen Zeitausnutzung mit mehreren Geschwindigkeitsstufen von 5—50 m pro Minute Ziehgeschwindigkeit und zur Aus-

schaltung der langen Leerläufe nach dem Durchgang bis zur Rückbeförderung des Rohres von Hand vor die Ziehmatrize, seitlich mit automatisch laufenden Rücktransportrollen ausgerüstet, die die Rohre nach den einzelnen Zügen schnellstens wieder vor den Kaliberring zum folgenden Zug transportieren.

Die gekratzten Rohre werden nach Erreichung des verlangten Durchmessers auf Warm- oder Kaltrichtmaschinen gerichtet und darauf die Ziehangel abgetrennt.

Das Kratzen oder Warmziehen dient nur zur Verringerung des äußeren Durchmessers; eine Verminderung der Wandstärke der Rohre wird hiermit jedoch nicht erreicht.

2. Das Kaltziehen der Rohre.

Wie mehrfach erwähnt, können im direkten Walzprozeß die Wandstärken der nahtlosen Rohre nur bis auf 2,5—3 mm herunter hergestellt werden. Rohre mit Wandstärken unter 2,5 mm und kleinster und genauester Abmessungen, wie sie beispielsweise für Rohrpostleitungen, Flugzeugrohre, Fahrradrohre oder andere sogenannte Präzisionsrohre gebraucht werden, können nicht im warmen, d. h. glühenden Zustand hergestellt werden. Die warmgewalzten Rohre brauchen aus Gründen der Schrumpfung beim Abkühlen, der Verzunderung und der verhältnismäßig rohen Bearbeitung als Massenartikel in der vorgeschriebenen Wandstärke sowohl als auch im Durchmesser bestimmte Maßtoleranzen, die für viele Rohre (Präzisionsrohre), sei es aus Gründen der Weiterverwendung oder des Aussehens, nicht erlaubt sind. Derartige Qualitätsrohre können nun aus warmgewalzten Rohren ähnlicher Abmessungen auf den bereits seit Beginn der Rohrfabrikation bekannten Schleppziehbänken mit genauesten Abmessungen und glattesten Oberflächen fertiggestellt werden.

Bereits im Jahre 1804 war dem Engländer George Alderson das erste englische Patent auf Kaltziehen von Bleirohren erteilt worden, nachdem bereits vorher dessen Landsmann John I. Wilkinson kurze dickwandige Bleirohre durch Walzen über einen Dorn längsgestreckt hatte. Das Verfahren wurde dann von Hawkworth und Harding — ebenfalls zuerst in England — in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts sinngemäß auf Eisenrohre übertragen.

Noch vor wenigen Jahren war es die Regel, daß selbst normale Kessel- und Siederohre nach Beendigung des Walzprozesses noch einen bis zwei Kaltzüge erhielten. Das Auswalzen der dünnen Wandstärken von 2,5—3 mm beim Warmwalzen ist erst in den letzten Jahren nach der Ueberwindung von Werkzeug- und Werkstoffschwierigkeiten, wie z. B. beim Ehrhardtverfahren nach Lösung der Ziehringfrage oder beim Pilgerschrittwalzwerk nach Lösung der Pilgerdornmaterialfrage, wirtschaftlich geworden, während früher die fortlaufende Fließarbeit durch Abreißen der Rohrluppen infolge zu raschen Werkstoffverschleißes usw. oft gestört worden war. Man walzte daher damals lieber die Rohrwand um 1—1,5 mm stärker, als sie im fertigen Rohr sein sollte, kam dadurch im Warmwalzwerk auf höhere und sichere Produktionszahlen und erreichte trotz der anschließenden teueren Kaltzüge eher die Wirtschaftlichkeit.

Man unterscheidet 2 Rohrkaltziehverfahren: Das Ziehen über den Stopfen und das Ziehen über Stangen.

Das Ziehen über den Stopfen:

Die älteste und einfachste Methode zum Kaltziehen von Rohren ist das Ziehen über den Stopfen oder den Dorn. Die Ausgangsrohre werden hierzu zuvor an einem „warm“ gemachten Ende auf einer Länge von ca. 100 bis 150 mm unter Schnellhämmern oder Anspitz-

maschinen zugespitzt, um genügend lange Rohrstücke zum Hindurchragen durch das Zieheisen zum Angriff für die Ziehzange zu erhalten. Hierauf müssen die Rohre für den Ziehprozeß innen und außen vom Glühzunder durch Beizen befreit werden. Das Beizen ist ein chemischer Vorgang. Durch Einwirkung einer verdünnten Säurelösung wird die oxydische Glühhaut zerstört, wobei sich die Konzentration der Beizflüssigkeit mehr und mehr verringert. In der Regel wird in Schwefelsäurebädern von ca. 10° Bé bei ca. 50 -60° C oder in kalten Salzsäurebädern, von ca. 5—7° Bé gebeizt, denen, zum Zweck der Vermeidung einer Narbenbildung an den zuerst blank gewordenen Stellen, eine geringe Menge eine kolloidalen organischen Stoffes (Verzögerer, z. B. Vogels Sparbeize) zugefügt wird. Die Rohre werden dann nach einer Wasserspülung auf den bekannten Schleppziehbänken durch eine konische Matrize gezogen, in welche bis zum engsten Durchmesser ein an eine Stange geschraubter, zylindrischer Dorn ragt. Das zu ziehende Rohr wird durch den zwischen Dorn und kleinstem Matrizendurchmesser verbleibenden Querschnitt hindurchgezogen, wobei der Dorn an seiner Stelle festgehalten wird. Der Dorn ist so bemessen, daß der Zwischenraum zwischen ihm und der Matrize geringer ist als der sich aus der Wandstärke und dem Durchmesser ergebende Querschnitt des Ursprungrohres. Das Rohr wird also sowohl im Durchmesser als auch gleichzeitig in der Wandstärke reduziert. Die Ziehbänke sind in der Regel mit mehreren Geschwindigkeitsstufen ausgerüstet. Je nach der Festigkeit des zu ziehenden Rohrmaterials und je nach der Rohrgröße schwankt die Ziehgeschwindigkeit zwischen 7 bis 20 m in der Minute. Das Ziehen von Rohren ist wesentlich schwieriger als das Ziehen von Stabeisen oder Draht, da neben der Schwierigkeit der Schmierung am Stopfen noch die der exakten Reinigung und Reinhaltung der Innenoberfläche des Rohres, was zum Gelingen eines Kaltzuges Voraussetzung ist, hinzukommt. Hierdurch und durch die starke Reibung zwischen Rohrwand und Stopfen kann man die theoretisch mögliche maximale Querschnittsabnahme beim Stopfenzug nicht anwenden. Praktisch wird die Kaltverformung hierbei kaum über 25 % ausgedehnt, wobei die Wandstärke höchstens um 0,5 mm in der Stärke vermindert werden darf. (Im Gegensatz hierzu kann beim „Stangenrohrziehverfahren" die Wandstärkenverminderung pro Zug 1 mm betragen.) Je kleiner der Rohrquerschnitt werden muß, desto mehr Kaltzüge sind natürlich erforderlich. Zwischen jedem Kaltzug müssen die Rohre in der Regel wieder weichgeglüht und hiernach wieder sauber vom Glühzunder befreit werden. (Näheres hierüber wird nachstehend beim „Stangenrohrziehverfahren" ausgeführt.) Das Ziehen über den Stopfen ist fast für alle Rohrabmessungen anwendbar. Es wird besonders bei der Herstellung von Präzisionsröhren, bei denen es auf genaueste Einhaltung der verlangten Abmessungen und auf saubere Innen- und Außenoberflächen ankommt, für Rohre, deren Material durch das Kaltziehen eine höher gelegene Streckgrenze erhalten soll und für Rohre unter 2 mm Wandstärke angewandt. Als Schmiermittel beim Ziehen wird Seifenwasserlösung, in die die Rohre vor dem Ziehen gelagert werden, oder auch Abfalloel (Leinöl) benutzt.

Das Ziehen über Stangen:

In die durch Beizen vom Glühzunder befreiten Rohre werden runde Stangen mit glatter, sauberer Oberfläche von dem Durchmesser geschoben, den das Rohr nach dem Kaltzug haben soll. Die Rohre mit innenliegender Stange werden darauf auf der Schleppziehbank durch einen konischen Kaliber- oder Ziehring gezogen, wobei der Querschnitt und die Wandstärke um einen bestimmten Betrag verringert wird. Während des Zuges wird das Rohr durch den Kaliberring fest auf die Rundstange gequetscht und über die Stange gezogen. Nach dem Kaltzug sitzt das Rohr fest auf der Stange und muß nun

wieder von dieser gelöst werden. Das Lösen geschieht auf einem Sonderaggregat, der Rohrabwalzmaschine (Reeling), die dem bereits beschriebenen Glättwalzwerk entspricht. Das Rohr mit Stange läuft in dieser Maschine durch zwei schräg zueinander geneigte, umlaufende Walzen und wird entsprechend dem Schrägwalzenprinzip in einer Spiralbewegung vorwärts getrieben, wobei das Rohr um zwei bis vier Zehntel Millimeter im Durchmesser aufgeweitet wird. Nach dem Abwalzvorgang kann die Stange leicht, entweder von Hand oder durch Dornausziehmaschinen oder durch die Reibung von zwei umlaufenden und gegen die Stange gedrückten Rollen, wobei das Rohr durch einen Anschlag festgehalten wird, aus dem Rohr gezogen werden. Nach dieser Operation besitzt das Rohr dank der stattgefundenen Kaltverformung erhebliche Spannungen, verbunden mit größerer Härte und Sprödigkeit des Materials. Die Größe dieser Faktoren steht im Verhältnis zur vorgenommenen Querschnittsverminderung. In diesem Zustand ist das Rohr normalerweise für eine Verwendung und auch für ein weiteres Kaltziehen auf eine noch kleinere Abmessung nicht zu gebrauchen. Das Material muß zunächst spannungsfrei gemacht werden und seine Ursprungs-Festigkeitseigenschaften wieder erlangen. Dies erfordert nach dem Kaltzuge eine sachgemäße Wärmebehandlung durch Glühen.

Das Wesen der plastischen Verformung bei der Kaltbearbeitung von Metallen ist im Laufe der Zeit durch eingehende Forschungen in verschiedener Weise dargestellt worden.

Nach den älteren Theorien von Beilby und Rosenhain (Theorie der amorphen Schichten), der Verlagerungshypothese nach Czochralski, der Translationstheorie nach Tammann versucht nach neueren Untersuchungen Polany*) die plastische Verformung durch die Annahme einer Verzerrung von Raumgitterteilchen durch Gleitung an gekrümmten Gleitflächen zu erklären. Verschiedene physikalische Erscheinungen, wie unter anderen die Kristallerholung und das Rekristallisationsvermögen, finden in dieser Theorie der Biegegleitung eine Erklärung, da sie den kaltverformten Kristall als eine gegenüber dem nicht verformten Kristall energiereiche Substanz auffaßt.

Sobald durch die Kaltreckung des Materials dessen Elastizitätsgrenze überschritten wird, treten in den Kistalliten bleibende Verformungen auf, die mit dem Metall-Mikroskop in Form von Gleit- oder Translationslinien zu erkennen sind. Mit wachsender Verformung werden diese zunächst gradlinigen Gleitlinien verkrümmt, wobei sich gleichzeitig die Korngestalt verändert. Diese Gefügeänderungen sind nun mit starken Aenderungen der physikalischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften verbunden. Von diesen Eigenschaftsänderungen interessieren bei der Rohrkaltzieherei besonders die Veränderungen der mechanischen Eigenschaften — „die Verfestigung". Je nach der Größe der Kaltverarbeitung erhöhen sich Ursprungsfestigkeit, Streckgrenze und Härte, während sich Dehnung und Kerbzähigkeit wesentlich erniedrigen. Diese für manche Zwecke erwünschten Eigenschaftsänderungen lassen sich durch Glühen des verformten Materials bei bestimmten Temperaturen, wobei sich das Gefüge ändert, wieder zum Verschwinden bringen. Den nach vorhergehender Kaltverformung durch Glühung bei bestimmten Temperaturen einsetzenden Vorgang der Gefügeumbildung nennt man Rekristallisation.

Nun gehen die durch die Verformung von Flußeisen eingetretenen Veränderungen der mechanischen Eigenschaften zu einem Teil schon in Temperaturbereichen wieder zurück, in denen das Gefüge noch keine Veränderung aufweist. Werden jedoch diese Temperaturgrenzen, die als untere Rekristallisationstemperaturen bezeichnet wer-

*) Vgl. Puppe: Walzwerkswesen, Bd. I.

den, erreicht oder überschritten, so entsteht ein ganz neues Gefüge, dessen Korngröße nur von der Größe der vorhergegangenen Kaltreckung und der Höhe der Glühtemperatur und Glühdauer abhängig ist. Die als Folge des kritischen Zusammentreffens eines bestimmten Kaltreckgrades mit dessen Rekristallisationstemperatur verhältnismäßig spontan eintretende starke Kornvergrößerung hat dieselben Wirkungen wie eine weit oberhalb von Ac_3 erfolgte überhitzte Glühung, durch die das Material außerordentlich empfindlich gegen stoßweise Beanspruchung wird. Die Kerbzähigkeit erreicht einen Tiefstwert; ebenso fallen die Werte der Streckgrenze und der Bruchfestigkeit.

Aus diesen Betrachtungen geht die überragende Bedeutung des Verhältnisses zwischen der beim Kaltziehen von Rohren angewandten Querschnittsverminderung und der Glühtemperatur und Glühdauer für die Brauchbarkeit der fertiggestellten Rohre hervor.

Eine große Zahl von Forschern hat die Zusammenhänge zwischen Kaltformgebung und Glühtemperatur untersucht. Nach Wüst und Oberhoffer untersuchte Pomp [20]) an von der Firma Krupp hergestelltem weichen Flußeisen die Bedingungen für die Rekristallisation und deren Einfluß auf die Festigkeitseigenschaften. Er fand bei Querschnittsverminderungen von 8—16 %, am deutlichsten bei 11 %, nach Glühungen bei Temperaturen zwischen 650° C und 850° C den Höchstwert der Kornvergröberung, wodurch gleichzeitig die Härte, Streckgrenze, Bruchgrenze und Kerbzähigkeit des Materials erheblich erniedrigt wurde, während die Dehnung sich etwas erhöhte. Die Untersuchung bestätigte außerdem noch, daß auch die gleichzeitige Einwirkung kritischer Bedingungen von gleichem Einfluß ist wie das Glühen bei kritischer Temperatur n a c h der kritischen Kaltverformung. Pomp konnte an den kritisch behandelten Proben metallographisch eine Entmischung des Perlits insofern beobachten, als sich die Zementitteile in Form feiner Schnüre um die Ferritkristallite verteilt hatten. Diese Entmischung des Perlits wird als Ursache für die entstandene Sprödigkeit angesehen.

Wenn man auch die Gefahr der Kornvergröberung nach kritischer Kaltverformung durch eine anschließende Glühbehandlung über den Umwandlungspunkt (Ac3-Punkt), der beim kohlenstoffarmen Flußeisen bei ca. 900° C liegt, vermeiden kann, so empfiehlt es sich doch, in der Kaltzieherei keine Querschnittsabnahmen im Bereiche von 8—15 % zuzulassen. Wird diese Regel befolgt, wenigstens soweit es sich um Rohre aus weichem Flußstahl von ca. 35—42 kg/mm² Festigkeit handelt, woraus heute alle handelsüblichen Rohre hergestellt werden, so kann der Glühbetrieb seine Oefen einheitlich auf einer Temperatur von 750—800° C halten, was eine wesentliche Vereinfachung der Ueberwachung der Fabrikation bedeutet. Diese unterhalb des Umwandlungspunktes liegende Temperatur genügt dann zur Wiedererreichung eines einwandfreien Materialzustandes.

Außer den handelsüblichen Rohren sind auch Profilrohre von recht- oder vieleckigen, quadratischen oder ovalen Querschnitten usw. aus gewalzten runden Rohren durch Kaltziehen über den Stopfen herstellbar. Die Hauptschwierigkeit besteht hierbei in der richtigen Dimensionierung und exakten Herstellung von Dorn und Matrize für die Zwischenzüge zur allmählichen Gestaltung des verlangten Querschnittmaßes, wobei die Rohre zunächst in runder Form auf die gewünschte Wandstärke gezogen werden. Erst hierauf erfolgt die Kalibrierung durch die Matrizen mit nur führendem, nicht ziehendem Dorn. Für das Glühen, Beizen und die Querschnittsabnahme pro Zug gilt dasselbe wie für runde Rohre.

[20]) A. Pomp: Kritische Wärmebehandlung nach kritischer Kaltformgebung von kohlenstoffarmen Flußeisen. St. u. E. 1920.

Ebenso können Stahlrohre mit Innen- oder Außenüberzügen aus anderem Metall, wie z. B. Kupfer oder Messing auf Kaltziehbänken angefertigt werden. Hierzu werden zunächst die beiden aus den verschiedenen Stoffen bestehenden Rohre auf entsprechende Wandstärke gezogen und die Außendurchmesser so gehalten, daß das als Außenschicht für das kombinierte Rohr vorgesehene Rohr durch einen Druckzug über das Innenrohr gezogen werden kann. Infolge der verschiedenen Stoffeigenschaften und aus Gründen der Haftung können derartige Rohre nach der Herstellung nicht mehr spannungsfrei geglüht werden. Daher ist die Querschnittsabnahme des letzten Fertigzuges unter Berücksichtigung der Stoffeigenschaften und des Verwendungszwecks der Rohre von Fall zu Fall zu prüfen und festzulegen. Derartige Rohre erhalten die Metallüberzüge als Korrosionsschutz gegen innen oder außen strömende aggressive Flüssigkeiten oder Gase, während das Stahlrohrteil die Beanspruchung in Bezug auf Festigkeit bzw. Innendruck aufzunehmen hat.

Im letzten Jahrzehnt ist es auch gelungen, hochlegierte Stähle, wie beispielsweise die nichtrostenden Eisenchromlegierungen mit ca. 12—16 % Chromgehalt oder die nichtrostenden austenitischen VA-Stähle und die verschiedenen hochhitzebeständigen Legierungen zu Rohren zu walzen und auf entsprechende Abmessungen kalt zu ziehen. Das Ziehen und die Wärmebehandlung dieser Sonderstähle erfordert eingehende Kenntnisse der Eigenschaften des betreffenden Materials. Das Kaltziehen dieser Stähle scheiterte zunächst an der unangenehmen Eigenschaft des „Festfressens" in den Stahl- oder Hartgußmatrizen bei der direkten Berührung zwischen Ziehmatrize und Rohr, wie es bei den Kohlenstoffstählen üblich ist. Die Erzeugung einer elastischen Oberflächenschicht durch Anstreichen der Rohre mit Lacken oder Gemischen aus gummihaltigen Firnissen, Bleiglätte und Leinöl, die als Zwischenschicht eine direkte Berührung zwischen Matrize und Rohrmaterial verhütet, beseitigte diese Schwierigkeit. Durch das Anstreichen der Rohroberflächen vor dem Ziehen fällt das sonst erforderliche Beizen nach der Glühbehandlung für diese Rohre fort. Auf diese Weise ist man heute in der Lage, auch die hochlegierten nichtrostenden Stähle zu Rohren kleinsten Durchmessers und geringster Wandstärke zu verarbeiten.

e) Gebohrte Rohre.

Trotz der hochentwickelten Walz-, Preß- und Ziehverfahren zur Herstellung von Röhren, gibt es doch noch Sonderverwendungsgebiete, für die die so hergestellten Erzeugnisse nicht in Frage kommen und zwar einerseits aus Herstellungsgründen, wegen der für sie geforderten Toleranzen der Abmessungen oder andererseits, wenn es sich um kleinere Mengen recht starkwandiger Rohre aus Spezialiegierungen handelt, für deren Abmessungen und Spezialbehandlung die Umstellung im Walzwerk unrentabel ist. Das Verwendungsgebiet für gebohrte Rohre erstreckt sich insbesondere auf die Herstellung von Gewehrläufen, Kanonenrohren, dickwandigen Rohren, gebohrten Achsen, Büchsen, Hohlwellen usw. Als Ausgangsmaterial dient in der Regel Rundstabmaterial aller Stahlqualitäten vom weichsten Kohlenstoffstahl bis zum härtesten legierten oder nichtrostenden Stahl. Der Grad der Durchschmiedung des Stabmaterials ist für die technologischen Eigenschaften der hieraus gebohrten Rohre besonders wichtig. Das Bohren erfolgt gewöhnlich in horizontalen Bohrmaschinen, „Bohrbänken", in denen entweder das Bohrwerkzeug oder das Werkstück in drehende Bewegung gebracht wird. Für lange Bohrungen werden Maschinen mit feststehendem Bohrwerkzeug bevorzugt, weil sich erfahrungsgemäß der feststehende Bohrer nicht so leicht im Werkstück verläuft und somit eher eine zentrische Bohrung gewährleistet. Das Werkzeug wird mechanisch zwangsläufig

durch das sich drehende Werkstück hindurch geschoben unter gleichzeitiger Kühlung und Schmierung durch geeignete Schmiermittel, die meist unter Druck bis an die Schneide des Werkzeuges gepreßt werden und zugleich die anfallenden Späne aus dem Werkstück herausspülen. Als Bohrwerkzeuge werden hauptsächlich verwendet:

1. Spindelbohrer,
2. Spiralbohrer,
3. Bohrstangen.

Der Spindelbohrer ist aus dem alten Kanonenbohrer, der ursprünglich einen halbkreisförmigen Querschnitt besaß, durch Einfräßen einer tiefen Nut auf der ebenen Seite entstanden. Er hat also einen sichelförmigen Querschnitt und besitzt nur eine Schneide. Die eingefräßte Nut muß groß genug sein, um das Kühlwasser bis zur Schneide durchdringen und die Späne herausspülen zu lassen.

Der Spiralbohrer wird hauptsächlich für kurze Bohrungen verwandt. Für Spezialzwecke, z. B. zum Bohren von Flintenläufen, wird an einem längeren, im Durchmesser nur einige Zehntel Millimeter kleineren Stahlschaft, der beiderseits achsial eingefräßte Nuten besitzt, ein kurzes Stück eines Spiralbohrers angeschweißt. In die eine Nut wird ein Messingrohr bis zum Spiralbohrer eingelegt und verlötet. Durch dieses Rohr wird das Druckschmierwasser gepreßt, das dann unter Mitnahme der Späne durch die zweite Nut wieder zurückfließen kann. Das Kühl- und Schmiermittel wird durch Druckpumpen umgepumpt, die an die Bohrbänke angebaut sind und von diesen indirekt angetrieben werden.

Zum Bohren größerer Durchmesser werden oft Hohlbohrer verwendet, die nur einen Teil des auszubohrenden Querschnitts zerspanen, während der Kern stehen bleibt und unter Umständen noch anderweitige Verwendung finden kann. Der Hohlborer besteht für lange Bohrungen meist aus zwei Teilen, dem hohlen Schaft, der aus einem Rohr hergestellt sein muß, um den ausgebohrten Kern in sich aufzunehmen, und dem Bohrkopf, auf dessen Stirnseite ein oder mehrere Schneidmesser befestigt sind. Solche Hohlbohrer werden von ca. 70 bis 650 mm im Durchmesser verwendet.

Zum Glätten der Innenoberflächen der nach den beschriebenen Verfahren gebohrten Rohre bedient man sich eines Bohrkopfs, an dem ein oder zwei Stähle (Messer), die genau rund und scharf geschliffen sind, befestigt werden, die die gebohrten Löcher nacharbeiten. Zum Nachbohren oder Aufbohren vorgebohrter Löcher werden auch Bohrstangen benutzt. Diese bestehen aus runden Stahlschäften, die dem Durchmesser der Bohrung angepaßt sind. In das vordere Ende dieser Bohrstangen werden ein oder auch mehrere vierkantige oder runde Bohrstähle eingesetzt und mit Druckschrauben festgehalten. Die Bohrstangen selbst müssen kräftig genug und eventuell noch besonders geführt sein, damit ein vibrationsfreies Arbeiten gewahrt bleibt. Sie werden teils feststehend und teils auch umlaufend ausgeführt.

Die Fabrikation von Rohren durch Bohrung stellt ein kleines Sondergebiet unter den Rohrherstellungsverfahren dar, das bislang wegen der Eigenart der Anforderungen an die Qualität auch von den modernen hochentwickelten Walz-, Zieh- und Preßverfahren nicht verdrängt werden konnte. Die Herstellung gebohrter Rohre ist bezüglich Material, Durchmesser, Wandstärke und Genauigkeit der Abmessungen praktisch keiner Beschränkung unterworfen, während die Längen solcher Rohre bis vor kurzer Zeit noch maximal 2 m nicht überschritten. In neuester Zeit ist es jedoch gelungen, gebohrte Rohre sogar zu 10 m Länge wirtschaftlich herzustellen, sodaß sie mit den nach dem Walz- und Ziehverfahren hergestellten dickwandigen Rohren erfolgreich in Konkurrenz getreten sind.

III. Abschnitt:
Die Entwicklung der Unternehmungen und Betriebe.

A. Die Unternehmungen und die Zusammenschlußbewegung:

a) Die Entwicklung und Konzentration.

Die Röhrenindustrie bestand in ihren ersten Anfängen in Deutschland aus reinen Werken, die bezogene Vorprodukte (Röhrenstreifen) zu Röhren verarbeiteten. Wie bei den Walzwerken, die sich infolge der starken Bedarfssteigerung von Mitte des vorigen Jahrhunderts an in horizontaler Richtung erweiterten, entwickelten sich auch in der Röhrenindustrie recht bald Werke, die neben Röhren andere Walzwerkserzeugnisse herstellten. Die horizontale Ausdehnung der Walzwerke wurde schließlich infolge umwälzender Erfindungen, wie die Ausnutzung der Hochofenhitze, die Verwendung der Gichtgase und die Erkenntnis der wirtschaftlichen Vorteile der Auswalzung in einer Hitze, durch die Aera der vertikalen Erweiterung zu großen gemischten Werken abgelöst. Dieser Entwicklung folgte die Röhrenindustrie nur zögernd, da sie infolge ihrer Erzeugnisse, an die in individueller und qualitativer Hinsicht hohe Anforderungen gestellt wurden, lange Zeit eine Sonderstellung in der Eisen verarbeitenden Industrie bewahren konnte.

In der Zeit, als man als schmied- und walzbares Eisen lediglich das Schweißeisen kannte, besaßen die Walzwerke in der Regel eigene Puddeleinrichtungen zur Selbsterzeugung ihrer Halbfabrikate. In besonderem Maße war die Selbstversorgung für die Röhrenwerke notwendig aus Gründen hoher qualitativer Anforderungen an die Weiterverarbeitung der Vorprodukte. Die Eigenerzeugung sicherte zu der damaligen Zeit allen Walzwerken eine gewisse Unabhängigkeit. Mit der Verdrängung des Schweißeisens durch das nach dem Bessemer-, Thomas- oder Siemens-Martinverfahren erschmolzenen Flußeisen gerieten die reinen Walzwerke, die zunächst infolge Fehlens der hierfür erforderlichen Anlagen nun von den Stahlwerken in Bezug auf Lieferung ihrer Vorprodukte abhängig wurden, bald in eine von diesen abhängige Stellung, besonders als die Stahlwerke zur Verminderung ihrer von Anfang an hohen Gestehungskosten dazu übergingen, ihr Halbzeug in eigenen Anlagen weiter zu verarbeiten. Hierbei kamen ihnen sowohl technische als auch wirtschaftliche Vorteile des gemischten Betriebs bei der Kombination der Herstellung des Halbzeugs und dessen Weiterverarbeitung zustatten. Durch eine von den gemischten Werken betriebene zielbewußte Politik der Preisfestsetzung der Vorprodukte, die in einer möglichst geringen Spanne zwischen Halbzeug und Fertigfabrikat basierte, wobei durch niedrige Preise der Fertigprodukte eigener Massenabsatz erstrebt wurde, gelang es ihnen, den reinen Walzwerken durch Hochhalten der Halbzeugpreise die Verdienstspanne wesentlich zu schmälern bzw. ganz zu entziehen. Die Geschichte der Walzwerke hat gezeigt, wie sie in diesem von vorneherein ungleichen Kampf recht bald unterlagen, indem sie zum Teil bei günstiger Lage von den Stahlwerken allmählich erworben und angegliedert wurden oder sich selbst zu Gemischtbetrieben erweiterten, wenn sie nicht im Existenzkampf mit den gemischten Montanwerken zu Grunde gehen wollten. Im Gegensatz zu den reinen Walzwerken, bei denen sich diese Entwicklung rasch abspielte, blieb die Röhrenindustrie hiervon zunächst noch durch verschiedene Umstände, die sie wesentlich von den Walzwerken unterschied, verschont.

Für die Röhrenindustrie fiel beispielsweise der wirtschaftliche Vorteil des Auswalzens vom Ausgangsmaterial bis zum Endprodukt in einer Hitze, wie es für die normalen Walzwerksprodukte in gemischten Betrieben möglich war, von vorneherein fort. Der für geschweißte Röhren erforderliche Herstellungsgang über Bandeisen und Röhrenstreifen war bereits zu lang, um selbst die Unterteilung in die erforderlichen, gleichen Längen noch im warmen Zustande zulassen zu können. Diese Vorarbeit muß bereits im kalten Zustand ausgeführt werden. Anschließend hieran müssen die Streifen zur Umformung in Schlitzrohre und zum Verschweißen erneut auf Schweißhitze angewärmt werden. Eine Kombination war also hier nicht möglich. Für die Herstellung nahtloser Rohre werden in der Mehrzahl (für Rohre mittleren und kleineren Durchmessers) vorgewalzte Rund- und Vierkantblöcke verwandt. Die nach dem Walzen des Vorprofils noch vorhandene Wärme reicht jedoch in keinem Falle mehr zum Hohlwalzen aus, sodaß von vornherein auch hier eine neue Anwärmung auf Walztemperatur erforderlich ist. Hinzu kommt aber noch, daß die wesentlich stärkere und sehr komplizierte Materialbeanspruchung beim Hohlwalzen außer einwandfrei zusammengesetztem Material zugleich vollkommen saubere Oberflächen der zu walzenden Blöcke voraussetzt, wenn nicht größerer Ausschuß entstehen soll. Die zur Rohrherstellung gewalzten Blöcke müssen daher vor der Weiterverarbeitung auf saubere Oberflächen kontrolliert und in vielen Fällen durch Wegschleifen von Oberflächenfehlern „geputzt" werden. Diese Arbeiten können nur im kalten Zustand erfolgen. Aber auch für Röhren größten Durchmessers, die direkt aus gegossenen Blöcken (Ingots) gewalzt werden kann die Verarbeitung in derselben Hitze nach evtl. Wärmeausgleich in den sogenannten Ausgleichgruben, wie es für andere Walzprodukte üblich ist, nicht vorgenommen werden, da sie aus den eben geschilderten Gründen zunächst scharf auf Oberflächenfehler durchgesehen und in vielen Fällen, besonders wenn es sich um legiertes Material handelt, auf Blockdrehbänken überdreht oder auf Hobelbänken überhobelt werden müssen. Hinzu kommt, daß zur Erleichterung des Lochvorgangs im Schrägwalzwerk die großen Blöcke in der Regel durch Anbohren zentriert, zum Teil sogar hohlgebohrt werden müssen. Auch diese Arbeiten können nur im kalten Zustande ausgeführt werden.

Die schon beim Ausgangsmaterial beginnende scharfe Kontrolle zur Verhütung von Ausschuß setzt sich bei der Röhrenfabrikation selbst in den verschiedensten Fabrikationsstufen fort und bedingt wesentlich größere Sorgfalt bei der Herstellung und erheblich weitergehende Spezialeinrichtungen, wie für die gewöhnlichen Walzwerkserzeugnisse. Ebenso erfordert die sehr ins Einzelne gehende Bearbeitung der Rohre wie z. B. das Anpressen von Muffen und Bunden, das Anschneiden von Gewinden, das Biegen zu Rohrschlangen, die für bestimmte Rohrgattungen verlangte Verzinkung oder Umhüllung mit Jute, die zur Garantierung bestimmter Eigenschaften notwendige Glühung bzw. Vergütung usw., Spezialwerkstätten und einen weitgehenden Arbeitsaufwand, der den Preis des Ausgangsmaterials zu den Verarbeitungskosten nicht die gleiche Rolle spielen läßt, wie bei den anderen Walzprofilen. Diese Tatsache und die ihr besonders Rechnung tragende Spezialisierung einzelner Werke auf bestimmte Rohrprodukte war ein Hauptgrund dafür, daß sich die reinen Röhrenwerke im Gegensatz zu den Walzwerken den auf Massenerzeugnis eingestellten gemischten Betrieben gegenüber längere Zeit selbständig halten konnten.

Eine weitere Unterstützung in ihrer Unabhängigkeit fanden die röhrenherstellenden Unternehmungen in der längeren Verarbeitungsmöglichkeit von Schweißeisen. Aus Gründen der Verarbeitung und der damaligen Qualitätsanforderungen vollzog sich der Uebergang vom Schweißeisen zum Flußeisen in der Röhrenfabrikation nicht

so plötzlich wie bei den anderen Walzwerkserzeugnissen. Erst im Jahre 1905 erreichte das Flußeisen als Röhrenbaustoff quantitativ das bis dahin dominierende Schweißeisen. (Siehe Tabelle *).)

Jahr	Röhrenproduktion in to		%
	aus Schweißeisen	aus Flußeisen	
1890	15 500	7 500	48
1895	33 300	12 100	36
1900	49 300	28 400	57,8
1905	63 500	65 300	102
1910	55 900	160 600	287

Die durch die Entwicklung der Technik begründete steigende Nachfrage nach Flußstahlröhren und die sinkenden Preise des Flußeisens (Stabeisen aus Flußstahl kostete durchschnittlich in den Jahren 1895: 5 Mk., 1900: 25 Mk. und 1905: 17 Mk. weniger pro to als Schweißeisen) zwangen die alten Röhrenwerke schließlich auch, den Weg der reinen Walzwerke zu gehen und sich entweder horizontal durch Angliederung von Walzwerken, was wegen des damals billigen Bezugspreises von Flußeisenblöcken zunächst noch genügte, oder auch schon vertikal durch Angliederung von Stahlwerken zu erweitern.

Die Röhrenindustrie im Durchschnitt der Jahre 1880, 1900, 1910, 1920 und 1930:

Vor dem Jahre 1880 existierten in Deutschland 10 röhrenherstellende Unternehmungen:

1. Düsseldorfer Röhren- und Eisenwalzwerk vorm. Poensgen, Düsseldorf-Oberbilk,
2. I. P. Piedboeuf & Co, Düsseldorf-Eller,
3. Balcke, Tellering & Co, Benrath,
4. Albert Hahn, Berlin und Großenbaum,
5. S. Huldschinsky u. Söhne, Gleiwitz,
6. Müllers & Co, Köln-Ehrenfeld,
7. Thyssen & Co, Mühlheim,
8. Lauchhammer vereinigte vorm. gräfl. Einsiedelsche Werke, Riesa (Sa.),
9. Elisenhütte, Siegen,
10. H. Kuntze, Göppingen.

Von diesen 10 Werken waren noch vier reine Röhrenwerke:

1. Albert Hahn, Berlin,
2. Müllers & Co, Köln-Ehrenfeld,
3. Elisenhütte, Siegen und
4. H. Kuntze, Göppingen,

während die übrigen Werke neben Röhren auch andere Walzprodukte herstellten.

Der in den letzten beiden Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts fortschreitende Bedarf an Stahlerzeugnissen und besonders an Röhren aller Art bewirkte, z. T. angeregt durch Erfindungen neuer Rohrherstellungsverfahren, von denen die Verfahren zur Herstellung nahtloser Rohre nach Mannesmann und Ehrhardt eine vollkommene Revolution in der Röhrenherstellung bedeuteten, die Gründung neuer Werke und die Aufnahme der Röhrenproduktion durch bereits vorhandene große gemischte Montanwerke. Zu den bereits aufgezählten röhrenerzeugenden Unternehmungen hatten sich bis zur Zeit um die Jahrhundertwende noch die folgenden hinzugesellt:

1. Röhrenwalzwerk AG in Schalke,
2. Grillo, Funke & Co, Gelsenkirchen-Schalke,
3. Rheinische Metallwaaren u. Maschinenfabrik, Düsseldorf,
4. Deutsch-Oesterr. Mannesmannröhrenwerke AG, Düsseldorf,
5. Wittener Stahlröhrenwerke AG in Witten,
6. Hallesche Röhrenwerke AG in Halle (Saale),

*) Vgl. Hastmann: Konz. u. Kart. i. d. R. J.

7. Henrichshütte der Dortmunder Union,
8. Deutsche Röhrenwerke, Berlin,
9. Deutsche Röhrenwerke, Rath b. Düsseldorf,
10. Lothringer Eisenwerke in Ars a. Mosel,
11. Eschweiler-Kölner Eisenwalzwerk AG, Eschweiler-Aue,
12. Düsseldorfer Röhrenindustrie AG, Düsseldorf,
13. Gewerkschaft Käfernburg (Elisenhütte), Siegen,
14. Hildener Gewerkschaft, Hilden,
15. Kammerichwerke AG, Bielefeld,
16. Kontinentales Röhren- und Mastenwalzwerk AG, Oberhausen,
17. Gewerkschaft Deutscher Kaiser, Dinslaken,
18. Vereinigte Königs- und Laurahütte AG in Oberschlesien,
19. Bismarckhütte in Oberschlesien,
20. Bethlen-Falvahütte AG in Oberschlesien,
21. AG Ferrum vorm. Rhein u. Co, Zawodsky in Oberschlesien.

Die Mehrzahl dieser Werke betrieb neben der Röhrenerzeugung auch die Fabrikation von anderen Walzprofilen, z. T. auch von Eisenkonstruktionen, Maschinen etc.. Bereits um die Jahrhundertwende hatten sich auch schon große, gemischte Unternehmungen auf die Röhrenproduktion geworfen und zwar zunächst die oberschlesischen Werke, wo Röhren von Anfang an nie in reinen Werken hergestellt worden waren. Das Beispiel der oberschlesischen Werke mag auf die übrigen deutschen großen Montanunternehmungen ermutigend gewirkt haben, sich ebenfalls mehr und mehr der Röhrenfabrikation zuzuwenden. Richtunggebend war für diese: 1.) ihre überschüssigen Erze, Kohlen und Halbfabrikate selbst zu verarbeiten und damit ihre Gewinnbasis zu erweitern und 2.) sich durch die Aufnahme weitverzweigter Produktionen vor der Gefahr einseitiger Konjunkturschwankungen zu schützen und ihren Primärerzeugungen gesicherten und kontinuierlichen Absatz zu gewährleisten, was zur möglichst sicheren Rentabilität dieser Unternehmungen Vorbedingung war. Den Beweis für die Befolgung dieser Politik ergibt die in dem nur von gemischten Betrieben 1904 gegründeten Stahlwerksverband vorgenommene Aufteilung der Produkte in A- und B-Produkte, von denen für die A-Produkte Halbzeug, Träger, Eisenbahnoberbaumaterial, Formeisen) feste Quoten für den In- und Auslandsabsatz verteilt waren, während für die B-Produkte (Bleche, Stabeisen, Walzdraht, Röhren, Guß- und Schmiedestücke) nur lose Vereinbarungen getroffen wurden, die den Auslandsabsatz vollkommen freiließen, um in der vertikalen Ausdehnung nicht behindert zu sein. Der Erfolg dieser Politik ist aus dem in der nachstehenden Tabelle aufgestellten Versand des Stahlwerksverbandes an A- und B-Produkten zu ersehen.

Der Versand des Stahlwerksverbands in to.

Jahr	A-Produkte	B-Produkte		Röhrenanteil in %	
		a) insgesamt	b) Röhren	v. A—Prod.	v. B—Prod.
1905	5 215 367	3 601 524			
1906	5 734 902	4 141 361			
1907	5 584 110	4 667 833	92 497	1,65	1,98
1908	4 764 393	4 779 992	82 561	1,73	1,72
1909	4 965 574	5 140 571	95 530	1,92	1,86
1910	5 242 337	5 825 245	150 853	2,77	2,58
1911	5 815 491	6 457 332	192 705	3,3	3,0

Die steigenden Prozentzahlen und die absoluten Ziffern des Stahlwerksverbandes führen deutlich vor Augen, wie die gemischten Werke sich mehr und mehr auf die Röhrenproduktion verlegten. Sie machten allmählich das Rohr, wie vorher die anderen Walzwerkserzeugnisse, auch zum Massenprodukt und konnten es dadurch billig auf den Markt bringen. Vor dieser Gefahr waren zwar die kleinen

und mittleren Röhrenwerke noch durch den im Jahre 1893 gegründeten Verband für Gas- und Siederohre, der sich im Jahre 1904 als Syndikat erneuerte und dem die gemischten Werke ebenfalls angehörten, geschützt. Aber der Gegensatz zwischen den reinen und gemischten Werken im Syndikat wurde immer schärfer, besonders da die gemischten Werke gleichzeitig auch Mitglieder anderer Verbände wie z. B. des Stahlwerksverbandes waren (Bismarckhütte, Huldschinsky, Laurahütte und Thyssen), deren Interessen oft den Syndikatsverpflichtungen entgegengesetzt liefen. Sie erkannten nicht mehr den Schutz des Röhrenkartells, sondern fühlten für sich nur noch dessen Fesseln, sodaß ihre Bemühungen mehr oder weniger offen auf Auflösung des Syndikats gerichtet waren. Daß dieser vorauszusehende Ausgang den Untergang ihrer Existenz bedeuten würde, war den kleinen und mittleren Röhrenwerken klar, und in dieser Erkenntnis suchten sie durch Ausbau ihrer eigenen Anlagen den Segen der Gemischtbetriebe selbst noch zu erlangen, oder sie suchten Anschluß an die bestehenden großen, gemischten Werke, wodurch in beiden Fällen die Konzentration in der Röhrenindustrie eingeleitet wurde. In gewissem Sinne trug auch das bestehende Syndikat zur Beschleunigung der Konzentration bei, indem es den Mitgliedern ermöglichte, Quoten, die zur rentablen Führung eines Werkes nicht mehr ausreichten, an andere Werke gewinnbringend abzutreten und sich auf anderen Gebieten zu spezialisieren, was ihnen eher wieder Unabhängigkeit und Existenz sicherte.

Bis zum Jahre 1910 fand zahlenmäßig noch eine Verbreiterung der Röhrenindustrie statt, die sich um folgende Unternehmungen vergrößerte:

1. Eschweiler Bergwerksverein AG, Kohlscheidt,
2. August Thyssenhütte, Gewerkschaft Dinslaken,
3. Kronprinz AG, Ohligs,
4. Preß- und Walzwerk AG, Reisholz b. Düsseldorf,
5. Röhrenwalzwerk, Raunheim a. M.,
6. Sieg-Rheinische Hütten AG, Troisdorf (Rhld.),
7. Röhrenwerk Fischer, Bonn,
8. Wassergasschweißwerk AG, Worms,
9. Ver. Walz- und Röhrenwerke AG, vorm. Boeker & König, Hohenlimburg,
10. Maschinenfabrik Saaler AG, Teningen,
11. Siegener Stahlröhrenwerke, Siegen,
12. Krefelder Stahlwerk AG, Krefeld,
13. Stahlwerk Becker AG, Willich b. Krefeld.

Die einsetzende Konzentration läßt sich 1910 bereits an dem Verschwinden bzw. dem Verschmelzen oder Aufgehen nachstehender Firmen in andere Röhrenwerke oder in gemischte Betriebe verfolgen:

Firmen, die bis 1910 die Selbständigkeit aufgaben oder die Röhrenfabrikation einstellten:	Neue Inhaber 1910:
1. Henrichshütte der Dortmunder Union,	Henschel & Sohn, Kassel,
2. Hildener Gewerkschaft,	Balcke, Tellering & Co in Benrath,
3. Deutsche Röhrenwerke, Berlin und Rath,	Mannesmannröhrenwerke AG Düsseldorf,
4. Düsseldorfer Röhren- und Eisenwalzwerk AG,	Phönix AG für Bergbau und Hüttenbetrieb, Düsseldorf,
5. Huldschinsky & Söhne, Gleiwitz,	Oberschlesische Eisenbahnbedarfs AG, Gleiwitz,
6. Bismarckhütte AG,	Oberschlesische Eisenbahnbedarfs AG, Gleiwitz,
7. Bethler Falvahütte AG,	Oberschlesische Eisenbahnbedarfs AG, Gleiwitz,

8. AG. Ferrum vorm. Rhein & Co, Oberschlesische Eisenbahnbedarfs AG, Gleiwitz,
9. Eschweiler Eisenwalzwerk AG, Eschweiler-Aue, Eschweiler Bergwerksverein AG,
10. Müllers & Co, Köln, Eschweiler Bergwerksverein AG,
11. Röhrenwalzwerke AG, Schalke, Wittener Stahlröhrenwerke,
12. Kontinentale Röhren- und Mastenwalzwerke AG, Oberhausen, eingegangen 1903.

Die Entwicklung drängte auch im folgenden Jahrzehnt nach immer weiterschreitender Konzentration. Eingeleitet wurde sie durch die Auflösung des Gas- und Siederohrsyndikats am 30. 6. 1910, die ihren Grund in den Interessengegensätzen zwischen den reinen Werken und den gemischten Werken hatte. So wollten die Mannesmannröhrenwerke unter allen Umständen die von ihnen als reines Röhrenwerk herausgebrachten Spezialitäten, für die sie sich allmählich unter großen Opfern neue Absatzgebiete geschaffen hatten, durch ein Verbot der Herstellung durch andere Röhrenwerke, die neben ihrer alten Schweißrohrfabrikation immer mehr auch zur nahtlosen Rohrherstellung übergingen, schützen lassen, während die gemischten Werke und unter ihnen damals besonders die Firma Thyssen & Co das entgegengesetzte Interesse hatten. Die Firma Thyssen & Co brachte durch ihre Austrittserklärung dann das Syndikat 1910 zu Fall. Nach der Syndikatsauflösung setzte unter den Röhrenwerken ein erbitterter Konkurrenzkampf ein, der als Folge der vollkommenen Verwirrung des Marktes durch dauerndes Sinken der Rohrpreise (für $^3/_8$ bis $^1/_2$"-Röhren war der Syndikatspreis M 255,— pro to, während sie im freien Wettbewerb schon für ca. M 155, angeboten wurden) schließlich den Zusammenschluß einer Reihe bedeutender Röhrenwerke zu Kampfgruppen, wie z. B. die Versuche der Mannesmannröhrenwerke zur Vertrustung der Röhrenindustrie unter ihrer Führung, oder den Anschluß an große, gemischte Unternehmungen zur Folge hatte. Die so unter Eingliederung der Röhrenwerke in die gemischten Unternehmungen entstandenen vertikalen und horizontalen Zusammenschlüsse führten in vielen Fällen zur Konzernbildung, durch die die möglichste Herabdrückung der Gestehungskosten unter Ausnutzung aller durch den Zusammenschluß der Betriebe gleicher oder verschiedener Erzeugungsstufen gegebenen technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten erstrebt wurde. Röhrenwerke, die den Anschluß verpaßt hatten, gingen im Konkurrenzkampf ein.

Bis zum Kriegsausbruch kam kein Syndikat mehr zustande, und auch im Kriege gelang nur auf Drängen der Regierung formal ein Zusammenschluß aller Röhrenwerke, der praktisch belanglos war.

Um 1920 zeigt die Röhrenindustrie das folgende Bild:
Neu aufgenommen hatten die Röhrenproduktion:

1. Homburger Eisenwerk AG, vorm. Gebr. Stumm, Homburg (Saar), ein großes, gemischtes Hüttenwerk, dessen Geschichte bis ins 17. Jahrhundert zurückführt. Das Rohrwerk, das sich in Homburg (Pfalz) befindet, wurde 1911 von der Süddeutschen Röhrenindustrie, Eisenwerk Söllingen, erworben und für geschweißte Rohre ausgebaut.
2. Eschweiler-Ratinger Metallwerke AG, Ratingen, die ursprünglich nur Kupfer- und Messingröhren herstellte, ging wegen Rückgangs der Konjunktur in diesen Erzeugnissen 1917 auf die Fabrikation kaltgezogener Stahlrohre und schließlich durch Angliederung eines S-M-Stahlwerks auf die Fabrikation kleiner nahtloser Rohre über.

Die fortgeschrittene Konzentration geht aus der nachstehenden Aufstellung hervor:

Firmen, die bis 1920 die Selbständigkeit aufgaben oder die Röhrenfabrikation eingestellten:	Neue Inhaber 1920:
1. Röhrenwerk Fischer, Bonn,	eingegangen,
2. Siegener Stahlröhrenwerke,	eingegangen,
3. Röhrenwalzwerk, Raunheim,	eingegangen,
4. I. P. Piedboeuf & Co,	Gelsenkirchener Bergwerks AG,
5. Düsseldorfer Röhrenindustrie AG,	Gelsenkirchener Bergwerks AG,
6. Balcke, Tellering & Co,	Rheinische Stahlwerke AG, Düsseldorf,
7. Ver. Walz- und Röhrenwerke AG, vorm. Boeker & König in Hohenlimburg,	Rheinische Stahlwerke AG, Düsseldorf,
8. Grillo, Funke & Co,	Mannesmannröhrenwerke AG, Düsseldorf,
9. Wassergasschweißwerk AG, Worms,	Mannesmannröhrenwerke AG, Düsseldorf,
10. Wittener Stahlröhrenwerke,	Mannesmannröhrenwerke AG, Düsseldorf,
11. Lothringer Eisenröhrenwerke AG, Ars,	Gewerkschaft August Thyssen-Hütte, Dinslaken,
12. Gewerkschaft Deutscher Kaiser,	Gewerkschaft August Thyssen-Hütte, Dinslaken,
13. Gewerkschaft Käfernburg (Elisenhütte),	Siegener Eisenbahnbedarfs AG,
14. Henschel & Sohn,	Röhrenfabrikation eingestellt,
15. Sieg-Rhein-Hütten AG.	Röhrenfabrikation 1911 eingestellt.

In der Nachkriegszeit kann nach der durch die Inflation bedingten „Flucht in die Sachwerte" eine Ueberentwicklung in der Expansionstätigkeit der Konzerne beobachtet werden, die zu trustartigen Gebilden in der gesamten Eisenindustrie führte. Die Lage auf dem Weltmarkt wurde für die deutsche Eisenindustrie infolge des Valutadumpings anderer Länder (Frankreich und Belgien), der verminderten Kaufkraft der europäischen Bevölkerung und durch die innerdeutsche Belastung durch Steuern, Lohnsteigerungen, verkürzte Arbeitszeit, soziale Abgaben etc. immer katastrophaler. Gegenmaßnahmen, wie die einsetzenden Rationalisierungsprozesse zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Anlagen nach dem neuesten Stand der Technik, Stillegung älterer Produktionsanlagen zugunsten moderner neuer Betriebe reichten nicht aus, eine zum wirtschaftlichen Bestehen dieser aufgeblähten Konzerne genügende Beschäftigung und befriedigenden Absatz zu erzwingen. Unter diesem Zwang setzte sich im letzten Jahrzehnt immer mehr der Gedanke durch, die Gestehungskosten der einzelnen Unternehmungen dadurch zu senken, daß man Werke gleicher Erzeugungsarten zu einem Gebilde verschmilzt, um durch weitestgehende technische Rationalisierung die Herstellung verbilligen, die Frachtlage besser ausnutzen und damit einen verbesserten Absatz schaffen zu können. In Ausführung dieser Gedankengänge beobachtet man eine erhöhte Konzentrationstätigkeit zwischen an sich bereits vertikal und horizontal durchorganisierten Konzernen unter weiterer Verminderung der bereits zusammengeschrumpften Zahl der Unternehmungen zu wenigen, trustartigen Zusammenschlüssen, mit der Tendenz der Monopolisierung der gesamten Eisenwirtschaft durch weiteren Zusammenschluß von Verbänden. In diese Bewegung wurde u. a. auch die Röhrenindustrie, die zu einem großen Teil nur noch ein Bestandteil der Konzerne war, einbeschlossen. Am 14. März 1925 kam es unter dem Druck der Absatzkrise wieder zur Bildung eines Röhrensyndikats, dem 16 Firmen angehörten (s. Absatzorganisation), die bis zum Jahre 1930 in Auswirkung der beschriebenen Triebkräfte der Konzentration und der

durch die Verbandsbildung ermöglichten weiteren Konzentration durch Ankauf der Quoten mittlerer Werke auf 10 Unternehmungen zurückgingen. Als bedeutendster Zusammenschluß ist die am 5. Mai 1926 erfolgte Gründung der Vereinigten Stahlwerke AG, Düsseldorf anzusehen, die von nachstehenden Konzernen gegründet wurde:

1. Deutsch-Luxemburgische Bergwerks- und Hütten-AG,
2. Gelsenkirchener Bergwerks-Aktiengesellschaft,
3. Bochumer Verein für Bergbau- und Gußstahlfabrikation,
4. Thyssengruppe,
5. Phönix AG für Bergbau und Hüttenbetrieb,
6. Vereinigte Stahlwerke van der Zypen und Wissener Eisenhütten AG,
7. Rheinische Stahlwerke AG.

Von diesen waren (außer anderen Erzeugnissen) Röhrenhersteller: Die Gelsenkirchener Bergwerks AG, der Bochumer Verein, die Thyssengruppe, der Phönix und die Rheinischen Stahlwerke. Die Röhrenwerke wurden innerhalb der Gesellschaft zu einer in sich geschlossenen Gruppe zusammengefaßt, die heute der größte Produzent der Welt an nahtlosen Röhren ist. Am deutschen Röhrenverband sind die Vereinigten Stahlwerke AG mit einer Quote von ca. 51,5 % beteiligt.

Die Veränderungen in der Röhrenindustrie zwischen den Jahren 1920 und 1930 zeigt die folgende Aufstellung:

Firmen, die bis 1930 die Selbständigkeit aufgaben oder die Röhrenfabrikation einstellten:	Neue Inhaber 1930:
1. Phönix AG für Bergbau und Hüttenbetrieb, Düsseldorf,	Vereinigte Stahlwerke AG, Düsseldorf,
2. Gelsenkirchener Bergwerks AG,	Vereinigte Stahlwerke AG, Düsseldorf,
3. Rheinische Stahlwerke AG, Hüttenwerke,	Vereinigte Stahlwerke AG, Düsseldorf,
4. Gewerkschaft August Thyssen-Hütte, Dinslaken,	Vereinigte Stahlwerke AG, Düsseldorf,
5. Gewerkschaft August Thyssen-Hütte, Mühlheim,	Vereinigte Stahlwerke AG, Düsseldorf,
6. Bochumer Verein für Bergbau und Gußstahlfabrikation,	Vereinigte Stahlwerke AG, Düsseldorf,
7. Oberschlesische Eisenbahnbedarfs AG,	Ver. Oberschles. Hüttenwerke AG, Gleiwitz,
8. Rheinische Metallwaaren- und Maschinenfabrik, Düsseldorf,	Röhrenfabrikation eingestellt, (Quote von Mannesmann aufgekauft),
9. Ver. Königs- und Laurahütte,	Werke polnisch geworden,
10. Kronprinz AG,	Röhrenfabrikation eingestellt,
11. Eschweiler-Ratinger Metallwerke AG,	Eschweiler Bergwerksverein AG, Kohlscheidt,
12. Siegener Eisenbahnbedarfs AG,	Röhrenfabrikation eingestellt,
13. Maschinenfabrik Saaler AG,	Röhrenfabrikation eingestellt,
14. Stahlwerk Becker AG,	Röhrenfabrikation eingestellt,
15. Röhrenwalzwerk der Rheinisch-Westf. Sprengstoff AG in Troisdorf.	Röhrenfabrikation eingestellt,

b) Stand der Unternehmungen.

Heute ergibt sich nachstehendes Gesamtbild der deutschen Röhrenindustrie:

Gesamtbild der Röhrenindustrie 1930:

	Quote im Röhrenverband:		
1. Vereinigte Stahlwerke AG, Düsseldorf,	Quote	ca.	51,5 %
2. Mannesmannröhrenwerke AG, Düsseldorf,	Quote	ca.	21—22 %
3. Preß- und Walzwerk AG, Reisholz b. Düsseldorf,	Quote	ca.	6,5 %
4. Hahnsche Werke AG, Berlin und Großenbaum,	Quote	ca.	5,6 %
5. Mitteldeutsche Stahlwerke AG, Lauchhammerwerke, Riesa,	Quote	ca.	5,6 %
6. Homburger Eisenwerk AG, vorm. Gebr. Stumm, Homburg,	Quote	ca.	3,5 %
7. Ver. Oberschles. Hüttenwerke AG, Gleiwitz,	Quote	ca.	3 %
8. Eschweiler Bergwerksverein AG, Kohlscheid,	Quote	ca.	2 %
9. Kammerichwerke AG, Bielefeld-Brackwede,	Quote	ca.	1,5 %
10. Hallesche Röhrenwerke AG, Halle (Saale),	Quote	ca.	0,5 %
11. Krefelder Stahlwerk AG, Krefeld, (Deutsche Edelstahlwerke AG)	—	—	—
12. H. Kuntze, Göppingen.	—	—	—

Die Röhrenindustrie, die, wie gezeigt wurde, noch um die Jahrhundertwende aus kleinen, reinen Unternehmungen und mittleren Walzwerken bestand, ist im Laufe der ersten Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts fast ausschließlich von den großen gemischten Hüttenwerken aufgesogen worden. Der Grund dazu lag sowohl in der durch die Kombination in vertikaler Richtung vorhandenen technischen und wirtschaftlichen Ueberlegenheit der gemischten Werke als auch in deren überwiegendem Einfluß in den Syndikaten und Rohstoffverbänden. Wie die Entwicklung des letzten Jahrzehnts beweist, machte die Konzentration aber auch bei den großen gemischten Werken nicht Halt. Die Nachwirkungen des Krieges und der Inflation einerseits und die verminderte Aufnahmefähigkeit des Weltmarktes für deutsche Erzeugnisse andererseits erzwangen eine neue Konzentration, die ihren Ausdruck in der Bildung von Konzernen fand und die, kaum gebildet, den Rentabilitätsforderungen noch immer nicht genügten. Denn die im Kriege gewaltig angeschwollene Expansion der Eisenindustrie der anderen Länder, die zu ihrem Schutz errichteten nationalen Hochschutzzölle aller eisenerzeugenden Länder und nicht zuletzt der Wegfall der Auslandskredite, die den Inlandabsatz der Jahre vorher wesentlich angeregt hatten, ließ die Beschäftigung der Betriebe der deutschen Eisen- und Stahlindustrie auf die Hälfte und mehr ihrer Leistungsfähigkeit sinken [21]). Diese Verhältnisse erforderten gebieterisch weitere Senkung der Selbstkosten und Anpassung der Erzeugung an die Aufnahmefähigkeit des Marktes bei gleichzeitiger Preisregulierung. Mittel zur Erreichung dieser Ziele bot, nachdem die technische Rationalisierung der Betriebe kaum noch weiter getrieben werden konnte, nur wieder der horizontale Zusammenschluß von Unternehmungen und Konzernen gleicher Art zu einer Unternehmung trustartigen Charakters mit nebenhergehender Ausscheidung nicht vollkommen moderner Betriebe aus der Produktion, also wieder die Konzentration. Ein Schulbeispiel hierfür bietet der Zusammenschluß des Phönix, der Rhein-Elbe-Union, Thyssen und Rheinstahl zu den Vereinigten Stahlwerken.

[21]) Siehe Geschäftsbericht der Vereinigten Stahlwerke 1926.

Andererseits zeigt aber auch das Vorhandensein von mittleren Betrieben von beinahe reinem Charakter, wie die Hahnschen Werke A. G., die Kammerichwerke A. G. und die Firma Kuntze, sowie kleinere Werke, die durch Schmelzschweißung oder mit Hilfe der elektrischen Schweißung Spezialrohrfabrikationen betreiben, die wegen der bislang nur unbedeutenden, meist nur zur Belieferung des örtlichen Bedarfs eingestellten Produktion in der vorliegenden Arbeit unberücksichtigt blieben, daß Spezialisierung ein Mittel ist, das auch heute noch gestattet, eine Existenzgrundlage zu bieten.

Kurzer Entwicklungsgang der heutigen deutschen röhrenherstellenden Unternehmungen.

1. Vereinigte Stahlwerke AG, Düsseldorf.

Am 5. Mai 1926 wurden die Vereinigten Stahlwerke AG, Düsseldorf von folgenden gemischten Montan-Konzernen gegründet:

1.	Rhein-Elbe-Union (Deutsch-Luxemburgische Bergwerke und Hütten AG, Gelsenkirchener Bergwerks AG, Bochumer Verein)	mit 316 Mill. M = 39,5 %
2.	Thyssengruppe	mit 208 Mill. M = 26 %
3.	Phönix AG	mit 208 Mill. M = 26 %
4.	Rheinstahl AG (Hüttenwerke)	mit 68 Mill. M = 8,5 %
		Aktienkapital Sa 800 Mill. M = 100 %

Ferner wurden 125 000 000 Mk. Genußscheine ausgegeben.

Die Gründungsgesellschaften haben den größten Teil ihrer Betriebe in die neue Gesellschaft gegen Aktien der Vereinigten Stahlwerke eingebracht. Sie sind somit reine Holdinggesellschaften geworden, deren Aufgabe in der Hauptsache nur noch in der Verwaltung der Aktienbeteiligung liegt. Lediglich die Rheinischen Stahlwerke AG haben ihren Zechenbesitz im Interesse der Ausbeutung für die I. G. Farbenindustrie aus der Neugründung herausgelassen.

An Röhrenbetrieben sind bei der Gründung eingebracht worden:

1. Von der Gelsenkirchener Bergwerks-Aktiengesellschaft: Die Röhrenwerke der Gesellschaft in Düsseldorf (ehemals „Düsseldorfer Röhrenindustrie", Düsseldorf-Oberbilk),
2. Vom Bochumer Verein: Das Röhrenwalzwerk in Höntrop,
3. Von der Phönix AG: Röhrenwerke in Düsseldorf-Lierenfeld (ehemals „Düsseldorfer Röhren- und Eisenwalzwerke, vorm. Poensgen").
4. Von der Thyssengruppe:
   a) Röhrenwerke der August Thyssen-Hütte in Dinslaken,
   b) Röhrenwerke der Stahl- und Walzwerke Thyssen in Mülheim.
5. Von den Rheinischen Stahlwerken AG: Röhrenwerke in Benrath (ehemals Balcke, Tellering & Co), Röhrenwerke Hilden, Wickede und Wurag-Hohenlimburg.

Von den Röhrenwerken der Vereinigten Stahlwerke, die zu einer Gruppe zusammengeschlossen wurden, sind heute noch in Betrieb: die Werke in Mühlheim, Dinslaken, Düsseldorf-Lierenfeld, Höntrop und Wurag-Hohenlimburg. Als größter Röhrenproduzent Europas gehören die Vereinigten Stahlwerke dem Röhrenverband mit einer Quote von ca. 51,5 % an.

2. Mannesmannröhrenwerke AG., Düsseldorf.

Die Mannesmannröhrenwerke AG. wurden am 16. 7. 1890 unter der Firma „Deutsch-Oesterreichische Mannesmannröhrenwerke" zum Zwecke der Ausbeute der Patente der Gebrüder Mannesmann zur Herstellung nahtloser Rohre mit einem Aktienkapital von 35 Millionen Mark gegründet. Von dieser Summe erhielten die Erfinder des Ver-

fahrens Reinhard und Max Mannesmann 16 Millionen Mark als Entgelt für die Ueberlassung der in- und ausländischen Patente und der hieraus resultierenden Lizenzen. Hiervon mußten allerdings später, als die noch erforderlichen Versuchsarbeiten von der Gesellschaft große finanzielle Opfer verlangten, 7 Millionen zurückgezahlt werden, während das Aktienkapital gleichzeitig auf 22 1/2 Millionen Mark reduziert wurde. Die Gesellschaft betrieb zunächst 3 Röhrenwerke: in Remscheid, Komotau (Böhmen) und Bous (Saargebiet). Die Konkurrenz mit den Schweißrohrwerken, die den Abnehmern der nahtlosen Mannesmannrohre zeitweise den Bezug der damals noch unentbehrlichen geschweißten Rohre sperrten, gab 1899 den Anlaß zur ersten horizontalen Erweiterung des Unternehmens durch Erwerb der deutschen Röhrenwerke in Rath b. Düsseldorf, die geschweißte Röhren herstellten. Gleichzeitig wurde in Rath ein weiteres nahtloses Röhrenwalzwerk errichtet. Die erste vertikale Expansion erfolgte 1906 durch Ankauf des Saarbrücker Gußstahlwerks AG. zur Versorgung des Röhrenwerks in Bous mit Rohstahl.

Schon frühzeitig pflegte die Gesellschaft den Export an Röhren und gründete im Ausland zur Umgehung der Zollschranken des Auslandes eigene Werke, wie 1898/1899 in England und 1906 in Italien. In Oesterreich wurde das Röhrenwalzwerk Schönbrunn 1904/1905 für geschweißte Röhren erworben und 1908 mit dem Komotauerwerk zu den Oesterreichischen Mannesmannröhrenwerken G. m. b. H. umgewandelt.

Die vertikale Ausdehnung des Unternehmens in Deutschland vom reinen Röhrenwerk zum gemischten Betrieb wurde 1911 durch Uebernahme des Stahl- und Blechwalzwerks Grillo, Funke &Co., Gelsenkirchen-Schalke, 1912 durch Erwerb aller Kuxen des Steinkohlenbergwerks „Königin Elisabeth", Frillendorf und schließlich durch Fusion mit dem Blechwalzwerk „Schulz-Knaudt AG.' zu Huckingen weitergeführt. Dieses günstig am Niederrhein gelegene Werk wurde durch Vergrößerung des Stahlwerks und Errichtung von Hochöfen modern für die eigene Rohmaterialversorgung ausgebaut. 1917 beteiligte sich die Gesellschaft zur Manganerzversorgung am Braunstein-Bergwerk Dr. Geier, Waldalgesheim, und 1918 zur Sicherung des Kohlenbedarfs an der Steinkohlengewerkschaft „Unser Fritz" bei Wanne. Ebenfalls 1918 gliederte sich die Firma durch einen Verschmelzungsvertrag die „Wittener Röhrenwerke" an, die bereits 1910 nach der Syndikatsauflösung eine Verkaufsgemeinschaft mit den Mannesmannröhrenwerken abgeschlossen hatten.

Nach dem Kriege trat die Gesellschaft die Werke in Saarbrücken und Bous an eine französische Gruppe ab, da ein wirtschaftliches Arbeiten der Werke infolge der Willkür der Besatzungsbehörden und der damals hohen Frankenlöhnung nicht mehr möglich war. Dagegen wurde 1921 zur Sicherstellung des Rohmaterialbedarfs für Qualitätsbleche das Stahlwerk der „Gräflich von Landsberg'schen Elektrostahl- und Metallwerke G. m. b. H." zu Grevenbrück erworben und 1922 die „Bergwerksaktiengesellschaft Consolidation" Gelsenkirchen durch einen Betriebsvertrag angegliedert, dem die Verschmelzung Ende 1922 folgte. Im Jahre 1925 trat die Gesellschaft dem Röhrenverband bei. 1926 wurde, um die Schweißwerke Rath und Huckingen besser ausnutzen zu können, das Wassergasschweißwerk Worms stillgelegt, das zur Rohstoffbasis ungünstig lag. In demselben Jahr übernahm die Firma die Aktien der Maschinenfabrik Meer AG. in München-Gladbach, um eigene Werkstätten für ihre Spezialwalzwerkseinrichtungen zu erlangen. Gegen Ende 1929 kauften die Mannesmannröhrenwerke die Quote der Rheinischen Metallwaaren- und Maschinenfabrik, Düsseldorf, die die Röhrenherstellung einstellte, auf und erhöhten damit ihre Quote beim Röhrenverband um 3 %, die 1930 noch durch den weiteren Zukauf der Quote der Kronprinz AG in Ohligs in Höhe von 1,08 % auf 22 % gebracht wurde. Das Aktienkapital der Gesellschaft beträgt 185 263 800,— M.

Die Mannesmannröhrenwerke sind an den wichtigsten Verkaufsvereinigungen für Röhren und Röhrenfabrikate beteiligt und zwar

im deutschen Röhrenverband	mit etwa 22 %
in der Vereinigung für große nahtlose Röhren	mit etwa 50 %
im Schweißrohrverband	mit etwa 44,86 %
im Stahlflaschenverband	mit etwa 36,53 %

Von den Röhrenwerken der Gesellschaft in Deutschland befinden sich noch in Betrieb:

1. Abteilung Remscheid-Bliedinghausen,
2. Abteilung Rath I und II,
3. Abteilung Witten.

3. Preß- und Walzwerk AG, Reisholz b. Düseldorf.

Die Preß- und Walzwerk AG wurde von Heinrich Ehrhardt 1898 gegründet zur Herstellung von schweren Hohlkörpern, Maschinen, Metallgegenständen und nahtlosen Kesselschüssen. In den Jahren 1908–1909 wurde das Preß- und Rohrwerk erheblich vergrößert und modernisiert. Das Aktienkapital von 5 690 000,— M befindet sich vollkommen im Besitz der Familie Thyssen. Trotz der Gründung der Vereinigten Stahlwerke AG blieb das Werk selbständig als Familienbesitz Thyssen erhalten. Das Werk gehört dem Röhrenverband an mit einer Quote von ca. 6,5 %.

4. Die Hahn'schen Werke AG, Berlin und Großenbaum (Krs. Düsseldorf) sind aus dem reinen Röhrenwerk Albert Hahn, Großenbaum, das nach Thyssen die Röhrenproduktion aufnahm, hervorgegangen und als Aktiengesellschaft am 28. 3. 1896 gegründet worden. Neben der Röhrenproduktion wurde ein Stahl- und Walzwerk mit Blechschweißerei betrieben und nach dem Kriege auch der Bau eines Hochofens beschlossen. Das Unternehmen besitzt Röhrenwerke in Großenbaum für nahtlose Rohre bis zu 6". Das Aktienkapital beträgt 10 500 000,— M. Beim Röhrenverband ist das Werk mit einer Quote von ca. 5 % beteiligt.

5. Die Mitteldeutschen Stahlwerke AG, Berlin, wurden im November 1926 nach den Vereinigten Stahlwerken und mit deren Hilfe gegründet. Der Gesellschaft gehört die alte AG Lauchhammer (vorher Lauchhammer, vereinigte vorm. gräfl. Einsiedel'sche Werke) mit den Werken in Lauchhammer, Riesa, Burghammer und Gröditz und das Stahlwerk Weber in Brandenburg an. Die Lauchhammerwerke gehen in ihrem Ursprung bis auf das Jahr 1725 zurück. Der Betrieb ist vielseitig und erstreckt sich über Braunkohlenbergwerke, Ueberlandzentralen, Eisengießereien, Werkstätten für Eisenkonstruktionen, Stabeisen-, Blechwalzwerke und Rohrwerke für nahtlose und geschweißte Rohre mit Nebenanlagen. Die Rohrwerksanlagen befinden sich im Werk Riesa i. S. Das Aktienkapital beträgt 50 000 000,— M. Die Gesellschaft ist mit einer Quote von ca. 6 % beim Röhrenverband beteiligt.

6. Die Homburger Eisenwerke Aktiengesellschaft vorm. Gebr. Stumm in Homburg (Saar) gehört mit dem in Homburg liegenden Röhrenwerk zum Neunkirchener Eisenwerk AG vorm. Gebr. Stumm, Neunkirchen (Saar), dessen Geschichte bis ins 17. Jahrhundert zurückreicht und von dem es in Pacht betrieben wird. Stumm war von jeher ein gemischtes Hüttenwerk mit großer Kohlenbasis, Hochöfen und Walzwerken, das weit in die Verfeinerungsindustrie eingedrungen ist. Das Rohrwalzwerk in Homburg wurde 1911 von der Süddeutschen Röhrenindustrie, Eisenwerk Söllingen erworben. Die Gesellschaft befand sich vorübergehend in französischem Besitz. Das Aktienkapital beträgt 16 250 000, Fr. Beim deutschen Röhrenverband hat die Gesellschaft eine Quote von ca. 3,5 %.

7. Die Vereinigten Oberschlesischen Hüttenwerke AG, Gleiwitz, wurden am 19. 6. 1926 von der Linke-Hofmann-Lauchhammer AG, der Oberschlesischen Eisenbahnbedarfs AG, der Donnermarckhütte AG und der Oberschlesischen Eisen- und Kohlenwerke AG in Gleiwitz gegründet. Der Zusammenschluß dieser Werke zu einem einheitlichen gemischten Werk erfolgte zwangsmäßig nach der Zerstückelung dieser Werke durch die willkürliche Grenzziehung in Oberschlesien, die die Stammgesellschaften z. T. ihrer rohstofferzeugenden Werke und Verfeinerungsbetriebe beraubte. Von den Gründern war die Oberschlesische Eisenbahnbedarfs AG, die sich 1905 mit den alten Huldschinsky'schen Hüttenwerken fusioniert hatte, die einzige röhrenerzeugende Gesellschaft mit modernen Stahlröhrenwerken in Gleiwitz-Stadtwald. Das Aktienkapital beträgt 20 000 000,— M. Die vereinigte Oberschlesische Hüttenwerke AG ist Mitglied des Röhrenverbandes mit einer Quote von ca. 3 %.

8. Eschweiler Bergwerksverein AG, Kohlscheid. Der Eschweiler Bergwerksverein wurde am 2. 8. 1834 zur Ausbeutung der im Wurmrevier vorhandenen großen Kohlenfelder gegründet und hat sich allmählich zu einem großen, gemischten Hochofenwerk entwickelt. Im Jahre 1910 erwarb die Gesellschaft die „Eschweiler-Köln-Eisenwerke zu Eschweiler-Pümpchen", die nach der Röhrensyndikatsauflösung nicht mehr bestehen konnten, mit ihren Röhrenwerken in Eschweiler-Aue und in Köln-Ehrenfeld, wodurch sie Röhrenproduzent wurde. Später, 1925/26 wurde noch das Röhrenwerk der Eschweiler-Ratinger-Metallwerke AG in Eschweiler erworben. Das Aktienkapital beträgt 22 800 000,— M. Die Gesellschaft gehört dem Röhrenverband mit einer Quote von ca. 2,5 % an.

9. Die Kammerichwerke AG, Bielefeld, Berlin, sind eine Tochtergesellschaft der Hahnschen Werke und wurden 1896 gegründet. Das Unternehmen besitzt Feinblechwalzwerke, Verzinkerei, Feilenfabrik, Preß-, Stanz-, Ziehwerke und Röhrenwerke in Brackwede und Bielefeld. Die Röhrenbetriebe haben sich besonders auf kleinkalibrige Röhren und Präzisionsröhren spezialisiert. Das Aktienkapital beträgt 2 500 000,— M. Als Mitglied des Röhrenverbandes hat die Gesellschaft dort eine Quote von ca. 1,5 %.

10. Die Halleschen Röhrenwerke AG, Halle a. d. Saale, die im Jahre 1906 durch Umwandlung der bestehenden G. m. b. H. gegründet wurden, produzieren geschweißte Röhren, z. T. zur Deckung ihres eigenen Bedarfs für Ausrüstung der von ihnen gelieferten Heiz- und Lüftungsanlagen. Ihre Quote beim Röhrenverband, dem sie ebenfalls als Mitglied angehören, beträgt nur 0,5 %. Aktienkapital 1 005 000,— M.

11. Krefelder Stahlwerk AG, Krefeld, seit 1. 1. 1927 Deutsche Edelstahlwerke AG. Das Krefelder Stahlwerk wurde am 26. 1. 1900 als ausgesprochenes Qualitätsstahlwerk mit Walzwerksanlagen und Ziehereien gegründet. Im Jahre 1910 wurde ein Rohrwerk an die bestehenden Walzwerksanlagen neu angebaut zur Herstellung von Röhren aus legierten Stählen, wie z. B. Rohre als Halbfabrikat für Kugellager, Hochdruckrohre, kaltgezogene Rohre für Fahrgestellachsen, Holme und Streben, legierte Rohre für den Flugzeugbau usw.. Das Werk gehört dem Röhrenverband nicht an, da die Fabrikation von Gas- und Siederöhren nicht beabsichtigt war und auch nie aufgenommen wurde. Das Aktienkapital des Krefelder Stahlwerks betrug 6 000 000,— M.

Am 1. 1. 1927 erfolgte unter maßgeblichem Einfluß der Vereinigten Stahlwerke AG die Gründung der Deutschen Edelstahlwerke AG, die außer dem Krefelder Stahlwerk noch folgende Werke umfaßt:

1. Bergische Stahlindustrie, Remscheid,
2. Bochumer Stahlindustrie, Bochum,
3. Glockenstahlwerke, Remscheid-Hasten,

4. Gußstahlfabrik F. Bischoff, Duisburg,
5. Stahlwerke Brüninghaus, Werdohl,
6. Stahlwerk Haslach, Haslach i. K.

Das Aktienkapital beträgt 14 000 000,— M.

12. Die Firma G. Kuntze, Göppingen, die im Jahre 1869 gegründet wurde, ist ein altes reines Unternehmen. Die Firma fabrizierte in der ersten Zeit ihrer Entwicklung lediglich Röhren für Dampfheizungsanlagen. Sie spezialisierte sich später in ihren Werken in Süssen und Bochum durch eigene z. T. patentierte Schweißverfahren auch auf die Herstellung von Gas-, Wasser- und Turbinenrohrleitungen.

B. Die Betriebe:

a) Nach Arbeitsverfahren.

Wie aus dem ersten Teil der Arbeit zu ersehen ist, sind im Laufe der Entwicklung der Röhrenfabrikation mannigfache Verfahren entstanden. Von den älteren Verfahren hat ein Teil auch neueren Verfahren gegenüber infolge technischer Verbesserungen heute noch die Verwendungsberechtigung behalten, während wieder andere mit neueren Verfahren nicht Schritt halten konnten, was dann, wenn nicht rechtzeitig Umstellung auf andere Verfahren erfolgte, das Ausscheiden dieser Betriebe oder die Stillegung ganzer Werke zur Folge hatte. Für das Ausscheiden alter Betriebe bedeutete jedoch nicht nur die Wirtschaftlichkeit des Herstellungsverfahrens, sondern oft die geographische Lage des Betriebes zu den Absatzgebieten in Bezug auf die Aufnahmefähigkeit des Marktes der engeren Umgebung, der Transportverhältnisse nach weiter entfernt liegenden Absatzgebieten, die Lage der Rohstoffversorgung und des Kraftstoffvorrats usw. einen wesentlichen Faktor. Nachstehend sind die heutigen Betriebe der röhrenerzeugenden Unternehmungen und die angewandten Fabrikationsverfahren aufgeführt, soweit dies aus Erfahrung des Verfassers und den recht spärlichen Literaturangaben möglich war.

Unternehmen mit Rohrwerken:	Fabrikationsverfahren:
a) Vereinigte Stahlwerke AG:	
1. Bochumer Verein, Werk Höntrop.	Nahtlose Rohre: Schrägwalzwerke und Pilgerwalzwerksanlage für Rohre bis zu 15".
2. Stahl- und Walzwerk Thyssen, Werk Mülheim.	1. Geschweißte Rohre: Mehrere Stumpfschweißanlagen für Rohre bis 2", eine Fritz Moon-Anlage, Wassergasschweißerei.
	2. Nahtlose Rohre: Zwei Stoßbankanlagen nach Ehrhardt für Rohre bis 4", mehrere Schrägwalzen mit Pilgerstraßen für Rohre bis 15". Röckner-Anlage.
3. August Thyssenhütte, Werk Dinslaken	Nahtlose Rohre: Mehrere Schrägwalzen mit Pilgerstraßen für Rohre bis $12^1/_2$", zwei kontinuierliche Röhrenstraßen.
4. Röhrenwerk Düsseldorf-Lierenfeld.	1. Geschweißte Rohre: Stumpfschweißanlagen für Rohre bis 2".

Unternehmen mit Rohrwerken:	Fabrikationsverfahren:
	2. Nahtlose Rohre:
	Mehrere Schrägwalzen mit Pilgerstraßen für Rohre von 5—9", 8—14" und bis 24", zwei Stiefelwalzwerke bis $6^1/_2$", Aufweitewalzwerke bis 1500 mm ∅.
5. Wuragwerk Hohenlimburg.	Geschweißte Rohre:
	Rohrschweißanlage.
b) Mannesmannröhrenwerke AG:	1. Geschweißte Rohre:
1. Werk Rath.	Schweißrohrwerk mit Stumpf- u. Patentschweißanlagen.
	2. Nahtlose Rohre:
	Mehrere Schrägwalzen mit Pilgerstraßen für Rohre bis 24". Aufweitewalzwerke für Rohre bis 1500 mm ∅.
2. Werk Remscheid-Bliedinghausen.	Nahtlose Rohre:
	Mehrere Schrägwalzen mit Pilgerstraßen für Rohre bis 4".
3. Werk Witten a. Ruhr.	Nahtlose Rohre:
	Mehrere Schwedenstraßen (Duo-Rohrwalzen) mit Lochpressen, Strangpressen nach Dr. Singer für Rohre bis 100 mm ∅.
c) Preß- und Walzwerk AG, Reisholz bei Düsseldorf, Werk Reisholz.	Nahtlose Rohre:
	3 Stoßbankanlagen nach Ehrhardt für Rohre bis $4^1/_2$", 1 Schwedenstraße für Rohre bis 115 mm ∅.
d) Hahn'sche Werke AG, Werk Großenbaum bei Duisburg.	Nahtlose Rohre:
	Schwedenstraße für Rohre bis 6".
e) Mitteldeutsche Stahlwerke AG, Werk Riesa.	1. Geschweißte Rohre:
	Stumpfschweißanlage.
	2. Nahtlose Rohre:
	Mehrere Schrägwalzen mit Pilgerstraßen, 3 Schwedenstraßen.
f) Homburger Eisenwerk AG vorm. Gebr. Stumm, Werk Homburg (Saar).	1. Geschweißte Rohre:
	Stumpfschweißanlage.
	2. Nahtlose Rohre:
	Mehrere Schrägwalzen mit Pilgerstraßen für Rohre bis $5^1/_2$", eine Stiefelanlage für Rohre bis $4^1/_2$".
g) Ver. Oberschles. Hüttenwerke AG, Stahlröhrenwerk Gleiwitz-Stadtwald	1. Geschweißte Rohre:
	Stumpfschweißanlage.
	2. Nahtlose Rohre:
	Schwedenstraßen.
h) Eschweiler Bergwerksverein AG, Werk Eschweiler.	Geschweißte Rohre:
	Stumpfschweißanlage.
i) Kammerich Werke AG, Werk Brackwede b. Bielefeld.	Nahtlose Rohre:
	2 Stoßbankanlagen nach Ehrhardt für Rohre bis 4".

Unternehmen mit Rohrwerken:	Fabrikationsverfahren:
k) Hallesche Röhrenwerke AG, Werk Halle a. d. S.	Geschweißte Rohre: Stumpfschweißanlage für Rohre bis 2".
l) Krefelder Stahlwerk AG (Deutsche Edelstahlwerke), Werk Krefeld.	Nahtlose Rohre: Stoßbankanlage nach Ehrhardt und Ziehpressen.
m) G. Kuntze, Werk Süssen, Werk Bochum.	Geschweißte Rohre: Stumpf- und Patentschweißanlagen für Rohre großen Durchmessers u. Spiralschweißanlage.

Die aufgeführten 12 röhrenherstellenden Unternehmungen unterhalten 19 Röhrenwerke, in denen nach verschiedenen Verfahren gearbeitet wird. Nachstehend sind die einzelnen Verfahren zur nahtlosen Rohrfabrikation nach der Zahl der Werke, in denen sie z. Zt. angewendet werden, aufgeführt:

1.	Mannesmannverfahren (Schrägwalzen mit Pilgerwalzen)	in 8 Werken,
2.	Stiefelverfahren (Scheibenwalzen)	in 2 Werken,
3.	Aufweitewalzverfahren	in 2 Werken,
4.	Ehrhardtverfahren (Stoßbänke)	in 4 Werken,
5.	Schwedisches Rohrwalzverfahren (Rohrduowalzen)	in 5 Werken,
6.	Kontinuierliches Verfahren	in 1 Werk,
7.	Strangpreßverfahren	in 1 Werk,
8.	Röckner-Walzverfahren	in 1 Werk,
	Geschweißte Rohre werden hergestellt	in 10 Werken.

Die Gegenüberstellung zeigt, wie die Zahl der Betriebe zur nahtlosen Rohrherstellung in Deutschland gegenüber den Betrieben für geschweißte Rohre überwiegt. Im Jahre 1926 beispielsweise betrug die nahtlose Rohrproduktion 75 % der Gesamtrohrproduktion Deutschlands [22]). Die Schweißrohrherstellung mittels Stumpfschweißung beschränkt sich in Deutschland hauptsächlich auf die billige Handelsware der Gasrohre von $^1/_8$ bis 2" äußeren Durchmessers. Die vielseitigen Herstellungsverfahren für nahtlose Rohre geben ein Zeugnis für das in Deutschland ausgeprägte Bemühen zur Erreichung einer hohen Qualität der Rohrerzeugnisse. Dieser Qualität ist es zweifellos zu verdanken, daß Deutschland heute noch mehr als 50 % seiner Rohrproduktion exportiert (s. Absatzorganisation).

Unter allen Verfahren nimmt das Hohlwalzverfahren nach Mannesmann die weitaus führende Stellung ein. Aber auch das alte Schwedenverfahren mit Duowalzwerken wird noch verhältnismäßig viel angewendet, während sich das kontinuierliche Rohrwalzverfahren nicht durchsetzen konnte. Ein starker Konkurrent des Mannesmannverfahrens war von jeher das Ehrhardtsche Preß- und Ziehverfahren, das heute noch in 4 Werken besteht. Das Verfahren ist in den letzten Jahren durch seine Kombination mit dem Glättwalzwerk usw. und der technischen Vervollkommnung der Stoßbänke wesentlich verbessert worden, sodaß es sich für Rohre bis $4\,^1/_2$ Zoll wieder steigender Beliebtheit erfreut. Dieses zeigt in Verbindung mit der Entwicklung des Aufweitwalzverfahrens, dem Aufkommen des neuen Strangpreßverfahrens für Stahlrohre, nach dem bereits in den Mannesmannröhrenwerken in Witten gearbeitet wird und der Entstehung des Röckner-Walzverfahrens, daß die Entwicklung auf dem Gebiete der nahtlosen Rohrerzeugung noch nicht abgeschlossen ist.

[22]) Lobkowitz: Das nahtlose Stahlrohr in der dtsch. und amerik. Röhrenindustrie. Berlin 1927.

b) Nach der Standortsverteilung.

Die 19. Röhrenwerke verteilen sich auf die folgenden Gebiete Deutschlands in der nachstehenden Zahl:

1. Rheinland und Westfalen	15 Werke
2. Mitteldeutschland	2 Werke
3. Oberschlesien	1 Werk
4. Saargebiet	1 Werk (ohne das im französ. Besitz befindl. Werk Bous).

In überwiegendem Maße hat sich die Röhrenindustrie in das rheinisch-westfälische Industriegebiet konzentriert, als Folge des Aufsaugens der Röhrenproduktion durch die gemischten Montanwerke. Die Gründe der Konzentration der gemischten Großbetriebe nach dem Westen Deutschlands waren zunächst produktionsmittelbestimmte wegen des Vorhandenseins ausgedehnter Kohlenfelder und der guten Verkokungseigenschaft der dortigen Kohle, sowie wegen der lothringischen Erzgrundlage, die nach dem Kriege allerdings verloren ging. Umso wertvoller ist es heute, daß der zweite Grund der Konzentration im Westen, nämlich das Vorhandensein natürlicher und künstlicher Wasserstraßen, die es der deutschen Eisenindustrie durch niedrige Schiffsfrachten ermöglichten, ihr Absatzgebiet auf die Weltmärkte auszudehnen, nun auch die Rohstoffversorgung aus entfernten Erzlagern noch wirtschaftlich erträglich gestaltet. Für die Röhrenindustrie im besonderen, die von jeher auf Export eingestellt war, ist heute die Lage im rheinisch-westfälischen Industriegebiet mehr denn je eine Lebensfrage. Der Zusammenschluß der gemischten Unternehmungen im rheinisch-westfälischen Industriegebiet hat zwangsläufig auch eine Konzentration der Rohrwerksbetriebe zur Folge gehabt. Für ihre Konzentration waren die gleichen, aus den Nachkriegsverhältnissen erwachsenen Gesichtspunkte wie für alle eisenerzeugenden und weiterverarbeitenden Betriebe maßgebend, nämlich Selbstkostenerniedrigung und Qualitätsverbesserung der Produkte. Beide Forderungen bedingten zunächst eine weitgehende Beseitigung der durch die Vielseitigkeit der Produktion in den Betrieben entstandenen Zersplitterung durch Zusammenfassung gleichgearteter Anlagen zur Massenproduktion weniger Artikel im gleichen Betriebe unter Ausschaltung der technisch rückständigen Betriebe. Damit gaben die Konzerne ihre Vielseitigkeit zur Befriedigung der Mannigfaltigkeit der Nachfrage der Verbraucher nicht auf, erzielten aber gleichzeitig durch intensives Durcharbeiten weniger Produkte in den einzelnen Betrieben höhere Qualität. Eine wesentliche Rolle spielte bei diesen Rationalisierungsbestrebungen die verkehrsgeographische Lage der einzelnen Betriebe zueinander und zu ihrer Rohstoff- bezw. Weiterverarbeitungsbasis. Der verkehrsgeographischen Lage fielen die Röhrenwerke im Siegener Bezirk (Siegener Eisenbahnbedarfs A. G., Elisenhütte, Sieg-Rhein. Hütten A. G.) und das Wassergasschweißwerk Worms zum Opfer, während der Grund der Stillegung der Röhrenwerke der ehemals Rheinischen Stahlwerke in Eller, Hilden und Benrath, des Röhrenwerks der Rheinischen Metallwaaren- und Maschinenfabrik, Düsseldorf und des Stahlwerks Becker, Krefeld, wohl hauptsächlich durch die Konzentration der Produktion auf modern eingerichtete Betriebe der übernehmenden Konzerne zurückzuführen sein dürfte.

Im weiten Abstand folgt Mitteldeutschland mit 2 Röhrenwerken, von denen eigentlich nur den Mitteldeutschen Stahlwerken in Riesa eine größere Bedeutung als Röhrenproduzent zukommt. Der Standort dieses Werks ist konsumbestimmt. Seine Lage inmitten der auf der mitteldeutschen Braunkohle basierenden, aufstrebenden Industrie in Verbindung mit der durch die Elbe bedingten günstigen Frachtlage, ist sowohl für die Rohstoffversorgung durch Schrott aus Mitteldeutschland als auch für den Absatz in die zahlreichen eisenverarbeitenden und

chemischen Werke Mitteldeutschlands gegenwärtig und für die Zukunft vielversprechend.

Wesentlich, auch in seiner Bedeutung für die deutsche Röhrenindustrie, zurückgegangen ist der alte Eisenbezirk Oberschlesien, der seiner geographischen Lage und der geringeren Qualität der dortigen Kohlen und Erze nach von jeher schwer um seine Existenz zu kämpfen hatte. Diese Verhältnisse erzwangen schon frühzeitig eine straffe Organisation der Industrie zu gemischten Betrieben und weitgehende Entwicklung von Verfeinerungsbetrieben u. a auch der Röhrenfabrikation. Nach der willkürlichen Grenzziehung in Ostoberschlesien, die die Produktionsgrundlage der Eisenindustrie Oberschlesiens von Grund auf veränderte, blieb in Oberschlesien nur noch ein Röhrenwerk bestehen. Als frachtlich noch günstiges Absatzgebiet für dieses Werk gelten im Inland die Provinzen Schlesien, Brandenburg und der Osten Deutschlands von Mecklenburg ab und durch die Ausnutzung des Schiffsverkehrs auf der Oder die um die Ostsee liegenden ost- und nordeuropäischen Länder, sowie im Süden die Balkanländer.

Im Saargebiet, das seinen Aufschluß für die Hüttenindustrie nach der Einführung des Thomasverfahrens produktionsmittelbestimmten Gründen verdankt, befinden sich noch 2 Röhrenwerke, von denen jedoch das ehemalige Mannesmannwerk in Bous an die französische Gesellschaft: „Aciéries et Usines à Tubes de la Sarre S. A., Paris" verkauft worden ist. Am Homburger Eisenwerk vorm. Gebr. Stumm war ebenfalls vorübergehend französisches Kapital beteiligt.

Das natürliche Absatzgebiet für das Saargebiet ist nach wie vor Süddeutschland. Das Saargebiet — verkehrspolitisch gesehen — wegen seiner ungünstigen Frachtlage kaum in Frage. Die saarländische Industrie ist seit Kriegsende durch die französische Verwaltung des Gebietes sehr in der Entwicklung gehemmt worden. Erst die endgültige Rückgabe unter die deutsche Reichshoheit wird diesem Industrierevier wieder Aufstiegsmöglichkeiten schaffen können.

c) Nach Arbeiterzahlen und Größenklassen nach der Statistik des Deutschen Reiches von 1925.

Die Volks-, Berufs- und Betriebszählung vom 16. Januar 1925 führte eine weitergehende Unterteilung der Betriebe der Großeisenindustrie durch als die früheren Betriebszählungen. Hierdurch sind erstmalig auch die Röhrenwerke für sich ausgegliedert worden. Allerdings umfassen die in der Statistik aufgeführten Röhrenwerke der Gruppe V Klasse 1 Art. i eine wesentlich größere Gruppe als die in der vorliegenden Arbeit behandelten Röhrenwerke. In der Statistik von 1925 werden als Röhrenwerke erfaßt: Rohrbogenwerke, Röhrengießereien, Röhrenverkleidungsbetriebe, Rohrstahl erzeugende Betriebe, Röhrenschweißwerke, Röhrenwalzwerke und Rohrziehereien. Da die letzten drei Kategorien sicher den weitaus größten Prozentsatz der Gruppe darstellen, soll diese Statistik trotzdem zur allgemeinen Uebersicht über die Größenklassen der Betriebe herangezogen werden.

Durch den Begriff der „Technischen Betriebseinheiten" sind die Werke, die, wie besonders die kombinierten Werke, oft aus vielen Teilbetrieben zusammengesetzt sind, in ihre technischen Einzelbestandteile sowohl nach horizontalen als auch nach vertikalen Gesichtspunkten aufgeteilt worden.

Nach der Statistik waren 1925 als technische Einheiten unter dem Sammelbegriff Röhrenwerke 109 Betriebe mit 28 497 beschäftigten Personen vorhanden, die sich nach folgenden Größenklassen unterteilten:

Betriebe nach Größenklassen:

Größeneinteilung nach beschäftigten Personen	0	1—10	11—50	51—200	201—500	501—1000	über 1000	Summe
Röhrenwerke (technische Einheiten)	1	5	36	32	21	10	4	109
Röhrenwerke in % der Gesamtzahl	0,9	4,6	33	29,3	19,2	9,2	3,66	100
Zahl der besch. Pers.	0	44	1017	3592	6421	7504	9919	28 497
Beschäftigte Personen in % der Gesamtzahl	—	0,2	3,6	12,6	22,5	26,3	34,8	100

Wie aus der Zusammenstellung ersichtlich ist, spielen bei den Röhrenbetrieben die Betriebe unter 50 Arbeitern eine untergeordnete Rolle. Dagegen hat der Großbetrieb mit mehr als 200 Arbeitern überwiegende Bedeutung. Dieses Ergebnis dürfte speziell für die Stahlröhrenwalzwerke, deren Aufbau als Kleinbetrieb nach dem Umfang der Apparatur und dem Herstellungsgang nicht möglich ist, zutreffen.

d) Nach gewerblichen Niederlassungen und motorischer Kraft.

Zur Uebersicht über die Leistung der in den Betrieben zum Antrieb von Arbeitsmaschinen installierten Kraftmaschinen und Elektromotoren ist die in der Statistik des Deutschen Reiches von 1925 aufgenommene Zählung der örtlichen Betriebseinheiten, d. h. der gewerblichen örtlichen Niederlassungen zu Grunde gelegt worden. Neben der bereits erwähnten breiteren Basis des Begriffes „Röhrenwerke" sind unter dem Begriff der „örtlichen Betriebseinheit" Betriebe, die sich aus mehreren Teilbetrieben zusammensetzen, nicht zerlegt worden, sondern nach dem überwiegendsten Teilbetrieb der diesem entsprechenden Gewerbeposition zugeteilt worden. Das bedeutet zweifellos für den behandelten Teil der Stahlröhrenindustrie eine außerdem hinzukommende Ungenauigkeit, die den Wert der Statistik mindert, da die Röhrenwerke der großen gemischten Werke darin nicht enthalten sind.

Nach der Statistik des Deutschen Reiches waren 1925 unter dem Sammelbegriff „Röhrenwerke" folgende gewerblichen Niederlassungen nach Größenordnungen eingeteilt und die dazugehörigen Leistungen der Kraftmaschinen und Elektromotoren vorhanden:

Gewerbliche Niederlassungen nach Größenklassen.

Größeneinteilung nach besch. Pers.	1—10	11—50	51—200	201—500	501—1000	1001—2000	2001—5000	Summe
Röhrenwerke	2	19	18	9	4	—	1	53
Zahl d. beschäftgt. Personen:	11	488	1927	2749	3334	—	3536	12 045
Leistung d. vorhdn. a) Wind-, Wasser-, Wärmekraftmasch. in PS:	—	252	270	725	1720	—	7225	10 192
in % d. Gesamtz.:	—	2,46	2,66	7,1	16,9	—	70	—
b) Elektromot. in PS:	51	875	2234	9295	17181	—	18587	48 223
in % d. Gesamtz.:	0,105	1,8	4,62	19,2	35,5	—	38,5	—

Aus der bei den gewerblichen Niederlassungen ermittelten Beschäftigtenzahl von nur insgesamt 12045 gegenüber 28497 bei den technischen Einheiten geht deutlich hervor, daß große Teile der Rohrwerkbetriebe in den gewerblichen Niederlassungen nicht erfaßt sind und daß daher auch die gezählte installierte Maschinenleistung weit unter dem wirklichen Stand der Röhrenbetriebe liegen muß. Die fehlenden Betriebe sind in der Statistik in der Kombination: Stahlwerke, Walz-, Hammer- und Preßwerke bzw. Gießereien und Weiterverarbeitung mit aufgenommen worden und daher nicht genauer erfaßbar.

C. Die Betriebsorganisation.

a) Der Aufbau der Betriebe.

Die Röhrenwerke gliedern sich ihrem technischen Aufbau nach in Produktionsbetriebe und Nebenbetriebe, die unter einer gemeinsamen Oberleitung stehen.

Die Produktionsbetriebe werden dem Gang der Fabrikation entsprechend unterteilt in Warmbetriebe, Kaltziehereien, Zurichtereien (Fertigbetriebe, Adjustagen) und u. U. Glüh- und Vergütungsbetriebe.

Als Nebenbetriebe gelten die technischen Büros und Laboratorien, die Maschinen- und Werkzeugschlossereien und die evtl. vorhandenen Transportbetriebe.

Nachstehend soll der Fabrikationsablauf beispielsweise für die nahtlose Rohrfabrikation beschrieben werden:

a) Warmbetriebe.

Ausgangsprodukte sind je nach der Größe der herzustellenden Rohrdurchmesser entweder direkt aus dem Martinofen gegossene Rohblöcke oder in Blockwalzwerken vorgewalzte Rund- oder Vierkantstangen. Die gewalzten Stangen werden nach Hinzurechnung des bei der Fabrikation anfallenden Abfalls, der sich aus dem Ofenabbrand, dem Angel- und Schwanzendenabfall und Beizverlusten ergibt und der je nach dem Gang der Fabrikation und dem verlangten Endprodukt recht unterschiedlich sein kann, zum Gewicht des herzustellenden Endproduktes durch Blockbrecher oder Blockscheren in gleiche Längen unterteilt. In Werken mit angeschlossenen Blockwalzwerken wird diese Unterteilung meist schon im Blockwalzwerk im noch warmen Zustande vermittelst Heißeisensägen vorgenommen. Die unterteilten Blöcke werden hierauf chargenweise mechanisch durch hydraulisch oder elektrisch betriebene Blockdrücker in Stoß- oder Rollöfen gedrückt, wobei die Gewichte der Einsatzmengen auf registrierenden Waagen, die zweckmäßigerweise zwischen Blockdrücker und Ofeneingang montiert sind, ermittelt werden. Diese Gewichtsermittlung ist die erste Feststellung zur Produktionsüberwachung. Das hier festgestellte Gewicht ist die Bezugsgröße, auf die das Gewicht der Fertigprodukte zur Ermittlung des Ausbringens bezogen wird.

Die Blocköfen sind so bemessen, daß bei laufender Fabrikation der Weg und die Zeit, bis die eingesetzten Blöcke am Schweißherd zur Verarbeitung gezogen werden, lang genug ist, um die Blöcke allmählich und vollkommen auf Walztemperatur zu bringen. Durch wiederholtes Kanten bzw. Drehen und Rollen der Blöcke ist für gleichmäßige Temperaturaufnahme der Einsatzstücke zu sorgen.

Nach Erreichung der Walztemperatur werden die Blöcke von Hand gezogen und zum Lochen auf schnellstem Wege in den Lochapparat gebracht. Steht der Lochapparat dicht am Stoßofen, so genügt bei kleinen und mittleren Blöcken der Transport von Hand. Bei größeren Entfernungen und für die Fälle, wo auch andere Lochapparate abwechselnd zu versorgen sind, werden die Blöcke durch angetriebene oder auch durch nicht angetriebene, aber dafür fallend montierte Rollenbahnen oder mittels an Laufschienen gehängten fahrbaren Zangen befördert.

Als Lochapparat dient, wie im zweiten Teil bei den einzelnen Verfahren genauer ausgeführt, beim Mannesmannverfahren und zumeist auch beim kontinuierlichen Verfahren die Schrägwalze, beim Stiefelverfahren und Automaticverfahren das Scheiben- bzw. Kegelwalzwerk, beim Ehrhardtverfahren die hydraulische Lochpresse, beim Schwedenverfahren die Schrägwalze oder ebenfalls die Lochpresse.

Nach dem Durchgange durch die Lochapparate werden die Hohlstücke zur Auswalzung zu dünnwandigen Rohren den den einzelnen Verfahren zu Grunde liegenden Apparaturen (Pilgergerüste, Duorohrwalze, Stoßbank, kontinuierliches Rohrwalzwerk) zugeleitet, von denen

die fertigen Rohre über Rollgänge und je nach dem Verfahren durch Löse- oder Glättwalzwerke dem Maßwalzwerk zugeführt werden. Zwischen Glätt- und Maßwalzwerk werden, wie z. B. beim Ehrhardtverfahren, die Rohre auf Dornausziehbänken vom Dorn befreit und durch hydraulisch oder durch Druckluft betätigte Heißeisenschlittensägen auf beiden Seiten gerade geschnitten. Im Maßwalzwerk, das gewöhnlich aus drei Paar um 90° versetzten kalibrierten Walzen besteht, werden die Außenabmessungen der Rohre nachkalibriert. An das Maßwalzwerk schließt sich oft eine Warmrichtmaschine an, in der die sich noch im warmen Zustande befindlichen Rohre gerade gerichtet werden. Außer dem Schwedenverfahren, das eine mehrmalige Nachwärmung des Werkstückes erfordert, arbeiten die heutigen Verfahren vom Lochprozeß bis zum fertigen Rohr in einer Hitze. Zur Vermeidung einer Schädigung des Materials darf also bis zur Warmrichtmaschine die Temperatur der Werkstücke nicht unter den A c 1-Punkt fallen, was eine große Schnelligkeit aller Operationen ohne Zwischenaufenthalt erfordert. Bei langen Siederöhren mit dünner Wandstärke ist diese Bedingung meist nicht bis zur Warmrichtmaschine einzuhalten. Die Rohre werden in diesem Falle direkt aus dem Maßwalzwerk auf ein mechanisch bewegtes Kühlbett geleitet, über das sie zwangsläufig abrollen, wobei sie sich von selbst ziemlich gerade richten und gleichmäßig abkühlen. Für die so in einer Hitze ausgewalzten Rohre ist damit der Verarbeitungsprozeß im Warmbetrieb beendet.

Rohre unter 50 mm ⌀ oder andere aus wirtschaftlichen Gründen von den Walzwerken nicht direkt herstellbare Abmessungen können ebenfalls im Warmbetrieb, jedoch erst nach erneuter Anwärmung in Nachwärmöfen, auf Kratzbänken oder auf Reduzierwalzwerken auf Fertigmaße weiterverarbeitet werden.

Die fertigen Rohre werden darauf ohne Nachbearbeitung genau gezählt und nach Gewichtsermittlung chargen- oder kommissionsweise dem Glüh- oder Vergütungsbetrieb oder der Zurichterei (Adjustage) übergeben. Zur Kontrolle des Fabrikationsverlaufs kann den Kommissionen ein Laufzettel beigegeben werden, der den vorher vom Betriebsleiter festgelegten Produktionsgang angibt, und der mit der Uebergabe der Vor-, Zwischen- und Endprodukte von Betriebsmeister zu Betriebsmeister ausgefüllt weitergegeben werden muß. Zur Erleichterung der Uebersicht des Betriebsbüros über den jeweiligen Stand der Kommissionen können Abreißzettel an den Laufzetteln angebracht werden, die bei der Uebergabe von einem Betrieb zum nächsten von dem abgebenden Betrieb abgetrennt und ausgefüllt dem Betriebsleiter direkt zugeleitet werden. Nach Fertigstellung bzw. nach Versand der Kommission wird der Laufzettel dem Versandbüro zur Unterlage für die Versandpapiere und dem Betriebsbüro zur Nachkontrolle des Ausbringens bzw. zur Abfallermittlung zugeleitet. Ein Laufzettel dieser Art, beispielsweise für eine Röhrenstoßbankanlage mit Zubehör ist nachstehend zusammengestellt.

Laufende Kontrollen und die Gewichtsvergleiche des Material-Einsatzes und des Ausganges an Fertigerzeugnissen ermöglichen eine dauernde Ueberwachung des Betriebszustandes und sind für ein wirtschaftliches Arbeiten Bedingung. Außerdem müssen die Zwischenprodukte in den einzelnen Stadien des Warmprozesses auf Walz- und Materialfehler genau kontrolliert werden, um rechtzeitig fehlerhafte Produkte der nachfolgenden teueren Verarbeitung zu entziehen und entweder dem Schrott zuzuführen oder für geringwertige Zwecke zu verwenden.

(In Rohrschweißanlagen ist der Gang der Herstellung der geschweißten Rohre nach dem Verschweißen des Bandeisens sinngemäß. S. Teil II.)

b) Kaltzieherei.

Qualitätsrohre, wie z. B. abnahmepflichtige Kessel-, Siede- oder Hochdruckrohre, erhalten aus Gründen der Einhaltung der hierfür

Vorderseite

Laufzettel für Com.-Nr. .....

S. W. R. K. A.

Menge	Dimension	Material und Festigkeit

Stoßbank:

Dat.	Stöße	Ausgangsqu. u. Blocklänge	Charge	Gesamt-Gewicht

Warmziehbank:

Dat.	Anzahl der Rohre	Ausgangs-luppe	Züge	

Reduzierwalzwerk:

Dat.	Anzahl der Rohre	Ausgangs-luppe	gew. Dimens.	Länge

Kaltzieherei:

Dat.	Anzahl der Rohre	Ausgangs-luppe	fert. Dimens.	Länge

Adjustage:

Dat.	Anzahl der Rohre	übernommen am	fertiggestellt am

Versand:

Dat.	Menge	Dimension	Gewicht	Zeichen und Nr. d Wagg.

Rückseite
(zum Abreißen)

Stoßbank
Kom. .....
fertiggestellt am .....

Warmziehbank
Kom. .....
fertiggestellt am .....

Reduzierwalzwerk
Kom. .....
fertiggestellt am .....

Kaltzieherei
Kom. .....
fertiggestellt am .....

Adjustage
Kom. .....
fertiggestellt am .....

Kom. .....
Abnahmeftg. am .....
Toleranz geprüft durch
.....

Versand
Kom. .....
verladen am .....
verladen durch .....

vorgeschriebenen engeren Maßtoleranzen und des guten Aussehens nach der Warmverarbeitung noch einen bis zwei Kaltzüge. Sämtliche Präzisionsrohre, wie Fahrrad-, Flugzeug-, Rohrpostrohre usw. können aus denselben Gründen der kalten, spanlosen Verarbeitung nicht entbehren. Die vorgewalzten Rohre werden der Kaltzieherei chargen- oder kommissionsweise mit einem Laufzettel, der Kommissionsnummer, Zahl der Rohre, Gewicht mit den entsprechenden Lieferdaten enthalten soll, übergeben. Diese Rohre, in dem vorliegenden Zwischenstadium Rohrluppen genannt, sind in der Regel schon im Warmbetriebe mit einer Ziehangel versehen worden. Für Rohre kleinerer Abmessungen und für solche mit sehr dünner Wand erfolgt das Anspitzen meist erst in der Kaltzieherei mit dort aufgestellten kleineren mechanischen Hämmern oder Anspitzmaschinen. Die Zahl der für die verschiedenen Abmessungen anzuwendenden Kaltzüge und die Art, ob Stopfen- oder Stangenzug, ist bereits auf den Kommissionszetteln durch die Betriebsmeister nach Rücksprache mit ihren Betriebsleitern festgelegt. Die angespitzten Rohrluppen müssen zunächst für das Kaltziehen von ihrem bei der Warmverarbeitung entstandenen Glühzunder befreit werden. Dies geschieht in der Beizerei, die aus hygienischen Gründen möglichst in einem Nebenraum untergebracht ist. Hier werden die Rohre in sogenannten Beizkästen, meist rechteckige Behälter von ca. 1—1,5 m lichter Breite und ca. 1 m Höhe und den Durchschnittsrohrlängen entsprechender Länge, durch warme Schwefelsäure- oder kalte Salzsäurebäder von ihrem Glühzunder befreit. In neueren Anlagen wird während des Beizvorganges das Beizgut durch mechanische Vorrichtungen dauernd in Bewegung gehalten, um auch im Rohrinnern ein ständiges Fließen der Säure und damit eine schnellere und gleichmäßigere Zunderauflösung zu erreichen. Nach der Befreiung vom Zunder werden die Rohre in Bottichen mit Wasser abgespült und in Soda- oder Kalkmilchbädern neutralisiert, worauf sie zum Kaltziehen an die einzelnen Ziehbänke transportiert werden. Zwischen Beizvorgang und Kaltzug soll möglichst eine Zeitspanne von 5—24 Stunden liegen, um dem in das Material diffundierten Wasserstoff Zeit zum Wiederaustreten zu geben und damit jede Gefahr vorhandener Materialsprödigkeit, die sonst beim Kaltziehen größeren Ausschuß bringen kann, auszuschalten.

Die Kaltzüge selbst werden auf Ziehbänken mit umlaufenden, endlosen Ketten vorgenommen. Die Züge sind so bemessen, daß nach jedem Kaltzug eine Glühung vor dem Weiterziehen erforderlich ist. Dies geschieht chargen- oder kommissionsweise in Rohrglühöfen, die möglichst mit ein- und ausfahrbarer Chargiervorrichtung versehen sein sollen, die die Beschickung und das Entleeren unmittelbar hintereinander gestatten, um die Ofenhitze wirtschaftlich auszunutzen. Gut ausgerüstete Transportmöglichkeiten durch Rohrwagen, Krane oder vorteilhafter durch Rollgänge sind bei dem raschen Wechsel und der Vielseitigkeit der Operationen eine Vorbedingung für die Rentabilität der Kaltzieherei. Selbstverständlich werden sämtliche Kommissionen oder Chargen vor dem Verlassen des Betriebes zur Weiterverarbeitung genau gewogen. Die ermittelten Gewichte dienen wieder als Grundlage zur Berechnung des Abfalls und Ausschusses für die Betriebskalkulation.

c) Zurichterei.

Alle Arbeiten, die an den Abmessungen der Rohre nichts mehr ändern, wie das Richten, das Abtrennen der Enden, das Schneiden auf bestimmte Längen, das Gewindeschneiden, das Abpressen mit Preßwasser als Druckprüfung, das Einölen oder Anstreichen gegen Rostangriffe und u. U. auch verlangte Aenderungen der Durchmesser an den Rohrenden werden in der Zurichterei (Adjustage) ausgeführt. Die Zurichterei ist räumlich möglichst so angeordnet, daß der Trans-

port der Produktion sowohl vom Warmbetriebe als auch von der Kaltzieherei oder aus der Glüherei direkt in die Adjustage mündet, ohne daß erst einer der anderen Betriebe als Durchgang dienen muß.

Die aus den Warmbetrieben oder den Kaltziehereien kommenden Rohre werden zunächst, um sie für die weitere Verarbeitung brauchbar zu machen, in Kaltrichtmaschinen maschinell oder, wie bei dünnwandigen Präzisionsrohren, deren Oberflächen auch nicht die geringsten Beschädigungen erleiden dürfen, von Hand in Richtböcken gerade gerichtet. Erst nach dem Richten werden die Rohre auf Abstechbänken an den Enden gerade abgestochen oder auf fixe Längen geschnitten .Bei neuzeitlichen Maschinen bleibt das Rohr fest eingespannt, während sich die Schneidwerkzeuge in einem Spannkopf um das Rohr drehen. Bei älteren Ausführungen dreht sich das Rohr (weshalb es unbedingt zuvor gerade gerichtet sein muß) und das Abstechen erfolgt wie auf der Drehbank mit dem Abstechstahl. Für manche Zwecke genügt auch das Abschneiden der Enden durch maschinell betriebene Bügel- oder Kreissägen oder durch schnell rotierende dünne Schleifscheiben. Dampf- und Gasrohre werden an ihren Enden in der Adjustage mit Gewinde auf halb- oder vollautomatischen Gewindeschneidbänken versehen.

Der Anordnung der Abstechbänke und Gewindeschneidmaschinen ist besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden. Im Interesse ungestörten Weitertransports unter möglichst geringer Verwendung von Transportmitteln sind sie so aufzustellen, daß die Arbeitsgänge möglichst zugleich den Transport der Rohre in sich schließen und nach Vollendung der Arbeiten entweder gar kein oder nur ein kurzer Weg zur Verladung oder für den Stapelplatz übrig bleibt.

Nach der mechanischen Bearbeitung werden in der Adjustage sämtliche Rohre durch Kontrolleure auf Maßhaltigkeit des Außendurchmessers, der Wandstärken und der Gewinde etc. geprüft und ihre Längen gemessen. In der Adjustage erfolgen auch die Arbeiten zur Konservierung für den Versand durch Einölen der Rohre, Umhüllen der Gewinde mit Sackleinen oder das Asphaltieren, Umwickeln mit Jute etc. Vor dem Stapeln oder der Verladung werden die fertigen Rohre erneut verwogen und kommissionsweise mit angesteckten Wiegekarten gelagert.

Nebenbetriebe:

a) Betriebsschlosserei.

Zur Aufrechterhaltung eines geordneten Produktionsprozesses gehört die dauernde Instandhaltung aller Betriebsmittel. Die Instandhaltungsarbeiten gliedern sich in

1. laufende Reparaturen an in Betrieb befindlichen Maschinen und Apparaten,
2. Reparaturen und Ueberholungen hierzu aus dem Betriebe herausgezogener Maschinen und
3. Anfertigungen und Reparaturen der Werkzeuge.

Die laufenden Betriebsreparaturen werden von Schichtschlosserkolonnen, deren Zusammensetzung und Größe nach der Art der Betriebe erheblich schwanken kann, ausgeführt. Vornehmste Aufgabe dieser meist unter Aufsicht eines Vorarbeiters arbeitenden Kolonnen ist es, durch die Ueberwachung der arbeitenden Maschinen und durch schnelle Abhilfe gemeldeter Maschinenmängel, den Ablauf des Produktionsprozesses fortlaufend zu ermöglichen und, wo er durch einen plötzlichen Schaden unterbrochen sein sollte, diesen Schaden schnellstens zu beseitigen. Die Schichtschlosser arbeiten mit der jeweiligen Schichtbelegschaft zusammen, d. h. in Wechselschicht.

Die Ueberholungsarbeiten und größeren Reparaturen sowie die Anfertigung von Werkzeugen und deren Wiederinstandsetzung erfordern

die Einrichtung einer besonderen Werkstatt mit den entsprechenden Arbeitsmaschinen, die von einem Maschineningenieur geleitet wird. In ihr werden Ersatzteile für die Betriebseinrichtungen und neue Spezialwerkzeuge nach fachmännischen Gesichtspunkten hergestellt und die Aufarbeitung der verschiedenen Werkzeuge durchgeführt. Um die nach sachlicher Ueberlegung rationell eingerichteten Arbeiten in der Werkstatt nicht durch plötzliche Betriebsanforderungen zu stören und damit unwirtschaftlich werden zu lassen, gilt als Norm, Werkzeugersatz und Ueberholung von Maschinenteilen in das Betriebslager zu liefern, aus dem erst die Anforderungen des Betriebes gedeckt werden.

Gewöhnlich ist der Betriebsschlosserei noch eine elektrische Werkstatt oder wenigstens eine Gruppe Elektrofacharbeiter angegliedert, die die elektrischen Anlagen und Maschinen zu überwachen haben.

b) Technische Büros.

Die Weiterentwicklung der Apparatur und die geistige Durcharbeitung der anfallenden Reparaturen der gesamten Anlagen lassen das Vorhandensein eines technischen Büros mit Zeichnungsregistratur wünschenswert erscheinen. Die in diesem Büro tätigen Ingenieure haben die Aufgabe, Anregungen aus den Betrieben für Verbesserungen vorhandener Anlagen sachgemäß durchzuarbeiten und zu verfolgen, maschinelle und bauliche Veränderungsvorschläge zu projektieren und durch eigene Entwicklungen den Produktionsgang rationeller und wirtschaftlicher zu gestalten. Das technische Büro muß sämtlichen Betrieben jeder Zeit in gleicher Weise zur Verfügung stehen. Es untersteht in der Regel direkt der Werksleitung.

c) Laboratorien.

Die ständige Kontrolle des zur Bearbeitung angelieferten Rohmaterials und die zuverlässige Ueberwachung der eigenen Produktion ist Aufgabe des bei einem fortschrittlichen Betriebe unentbehrlichen Laboratoriums, das je nach der Größe des Werkes und des Produktionsprozesses auch verschieden ausgestattet sein kann. Im allgemeinen sollen im Laboratorium die zur Erreichung verlangter Werkstoffeigenschaften geeigneten Zusammensetzungen des Materials und zweckentsprechender Verarbeitungsmöglichkeiten ermittelt und dem Betriebe bekannt gegeben sowie Untersuchungen zur Herabminderung des Abfalls und des Produktionsausschusses angestellt werden. Die Untersuchungsanstalten sollen Mittler sein zwischen Wissenschaft und Praxis und durch ihre Tätigkeit gleichzeitig befruchtend auf Qualitäts- und Wirtschaftlichkeitssteigerung einwirken. Daneben haben die Laboratorien in Rohrwalzwerken besonders die Aufgabe, die von den amtlichen Sachverständigen an Kessel- und Siederohren und anderen hochbeanspruchten Rohren vorgeschriebenen gesetzlichen Untersuchungen und Prüfungen vorzubereiten und mit den Sachverständigen gemeinsam durchzuführen.

Neuzeitliche Hütten- und Walzwerkslaboratorien gliedern sich meist in drei Unterabteilungen:

1. Mechanisch-physikalisches Laboratorium,
2. Metallographisches Laboratorium und
3. Chemisches Laboratorium.

Im mechanisch-physikalischen Laboratorium werden die mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe, die ausschlaggebend für die Bewährung der Produkte und für ihre technische Verwertung sind, auf Spezialprüfungsmaschinen ermittelt. Die Prüfungen der Werkstoffe gliedern sich in

1. statische Versuche, d. h. die zur Prüfung dienende Beanspruchung nimmt allmählich zu (Zerreiß-, Biege- und Druckprobe),
2. dynamische Versuche, d. h. die Beanspruchung wird der Praxis mehr und mehr durch plötzliche stoßweise Belastung angepaßt (Schlagbiegeprobe, Kerbschlagprobe),

3. Dauerversuche, d. h. die Prüfung erstreckt sich statisch oder dynamisch auf eine längere Zeit.

Die gebräuchlichste und wichtigste Prüfung ist die Zerreißprüfung, die Auskunft über die Zugfestigkeit, Dehnung, Einschnürung, Elastizitäts- und Streckgrenze der Werkstoffe gibt. Diese Eigenschaftsbestimmungen werden an Proben, deren Form und Größe dem zu untersuchenden Werkstück angepaßt werden, auf Zerreißmaschinen oder auf für mehrere Prüfarten eingerichteten Universalwerkstoffprüfmaschinen ausgeführt. Die ermittelten Festigkeitseigenschaften dienen als Gütemaßstab sowohl zur Beurteilung des zur Verwalzung bestimmten Rohmaterials als auch bei der Abnahmeprüfung der Fertigerzeugnisse und zur Begutachtung der Vorbehandlung. Für Rohrwerksbetriebe sind noch Spezialeinrichtungen zur Ausführung bestimmter mechanischer und technologischer Prüfungen an den fertigen Rohren erforderlich. Diese erstrecken sich auf die sogenannte Bördelprobe, die Abschreckbiegeprobe, die Ringaufdornprobe oder Ringzerreißprobe und - besonders bei legierten Rohren - - auf die Warmzerreißprobe.

Im metallographischen Laboratorium wird der Gefügeaufbau der Werkstoffe nach entsprechender Vorbehandlung der Proben durch Schleifen, Polieren und Aetzen durch makro- und mikroskopische Untersuchungen ermittelt; außerdem werden thermische Untersuchungen durchgeführt. Der Gefügeaufbau der Metalle und der Metallegierungen gibt Aufschluß über Zusammensetzung, physikalische Eigenschaften und über die Vorbehandlung der Werkstoffe durch Verarbeitung, Glühung und Vergütung. Die wissenschaftliche Metallforschung ist heute als Kontrolle der Fabrikationsvorgänge, besonders zur Herabminderung des Fabrikationsausschusses durch eingehende Untersuchung zur Ergründung seiner Ursachen für werkstoffherstellende und stoffverformende Betriebe ein wichtiges Glied zur Wirtschaftlichkeits- und zur Qualitätssteigerung geworden.

Das chemische Laboratorium in Rohrwalzwerken hat in der Hauptsache die Aufgabe, durch Schnellanalysen in kurzer Zeit die zu verwalzenden Rohstoffe chargenweise auf ihre wichtigeren Bestandteile hin zu untersuchen. Da schon geringe Unterschiede in der Zusammensetzung der Werkstoffe großen Einfluß auf die Eigenschaften der Endprodukte haben, bildet die chemische Schnellanalyse die ständige Anfangskontrolle der zur Verarbeitung kommenden Halbfabrikate. In größeren Laboratorien werden außer reinen Analysen noch Forschungsarbeiten, wie beispielsweise Arbeiten auf dem Gebiete des Korrosionsschutzes u. ä., zur Qualitätssteigerung durchgeführt.

Außer der Werkstoffuntersuchung ist es vielfach noch Aufgabe der Laboratorien, im Zusammenarbeiten mit den Betriebsingenieuren die Ueberwachung der Meßgeräte, der Thermoelemente etc. auf einwandfreies Anzeigen und Arbeiten, der verwendeten Brennstoffe und evtl. des erzeugten Gases auf Gleichmäßigkeit auszuüben, sowie auch an den Walzwerks- und Glühöfen wärmetechnische und andere Betriebsversuche durchzuführen.

In größeren Betrieben sind oft die Glüh- und Vergütungsöfen, besonders wenn es sich um die Schlußglühung bzw. Vergütung fertiger Rohre aus Sondermaterial handelt, dem Laboratorium mit unterstellt, das dann für die sachgemäße Behandlung des Produkts verantwortlich ist.

b) Die technische Ausstattung.

Von der technischen Apparatur werden nachstehend nur die in Rohrwerksbetrieben ziemlich allgemein vorhandenen Anlagen behandelt. Die für die einzelnen Verfahren notwendigen Sonderaggregate sind z. T. in der Beschreibung der Herstellungsverfahren (Teil II) geschildert.

a) Ofenanlagen.

1. Walzwerksöfen.

Die Eigenart der Röhrenfabrikation bedingt es, daß im Gegensatz zu den anderen Walzwerkserzeugnissen das Endprodukt nicht in einer Hitze vom Schmelzofen ab hergestellt werden kann. Als Ausgangsprodukt kann normalerweise nur kaltes Material Verwendung finden, das zum Auswalzen erst wieder auf Walztemperatur gebracht werden muß. Die Anwärmung erfolgt in Walzwerksöfen, die nach der Feuerung unterteilt werden

1. in Oefen mit angeschlossenem Rost, d. h. Flammöfen mit Halbgasfeuerung,
2. Oefen mit Gasfeuerung,
3. Oefen mit flüssigem Brennstoff und
4. Oefen mit festem Brennstoff (Kohlenstaubfeuerung).

Die Halbgasfeuerung ist nur noch in alten Anlagen vorhanden, in denen die Schweißöfen, d. s. Flammöfen, dieselbe Bauart haben, wie die früheren Puddelöfen, von denen sie sich nur durch ihren flachen Herd unterscheiden, der mit gewöhnlichen feuerfesten Steinen ausgemauert und mit einer Sandschicht bedeckt ist.

In neueren Anlagen heizt man die Oefen mit Generatorgas, das in kleinen Werken in eigenen Gaserzeugungsanlagen gewonnen wird, oder in gemischten Werken mit Gicht- oder Koksofengas oder Mischungen aus diesen. Dort wo Ferngas zur Verfügung steht, geht man aus Gründen der Betriebsvereinfachung vielfach dazu über.

Flüssige Brennstoffe, wie Heizöl oder Teer, werden nur in Ausnahmefällen als Hilfs- und Zusatzfeuerung mit besonderen Brennern verwendet. Dagegen haben sich in der Zeit nach dem Kriege in den Hüttenwerken die Kohlenstaubfeuerungen wegen der guten Lenkbarkeit der Flammen und des geringsten Luftüberschusses für Walzwerksöfen eingeführt. Heute ist die Entwicklung der Kohlenstaubfeuerung für Rohrwalzwerke aber bereits wieder zu einem gewissen Stillstand gekommen, da der mit ihr verbundene Flugaschenniederschlag auf dem Walzgut, besonders, wenn es sich um das Glühen von Rohrluppen zum Weiterziehen handelt, Gefahren für die Güte und das Ausbringen der Erzeugnisse mit sich bringt, die die vorhandenen wirtschaftlichen und technischen Vorteile mindestens auszugleichen vermögen.

Je nach der Beschickung und dem Einsatzmaterial werden die Rohrwalzwerksöfen als Stoßöfen oder Rollöfen ausgebildet. Die Stoßöfen werden zur Wiedererwärmung von Vierkantblöcken verwendet. Sie besitzen einen kurzen Schweißherd und einen 10 -20 m langen Stoßherd. Die Vierkantblöcke werden an den dem Schweißherd entgegengesetzten Ende des Stoßherdes eingesetzt und durch immer neue Einsatzstücke mit elektrischen oder hydraulischen Blockdrückern auf Gleitschienen nach dem Schweißherd zu geschoben. Die Flammen ziehen nach dem Gegenstromprinzip dem Einsatzmaterial vom Schweißherd aus entgegen, sodaß die kalten Blöcke zunächst mit den kältesten Gasen in Berührung kommen und erst allmählich aufgeheizt werden. Beim Erreichen des Schweißherdes müssen die Blöcke dann zur gleichmäßigen Durchwärmung von Hand mehrfach gekantet werden.

Die Rollöfen, die den Stoßöfen ähneln, dienen zum Anwärmen von Rundmaterial, wie es für Schrägwalzen und Stiefelwalzen gebraucht wird. Die Blöcke werden ebenfalls an der kalten Stirnseite des Ofens eingesetzt und langsam zum Schweißherd gerollt. Das Rollen erfolgt von Hand mit Eisenstangen durch kleine Oeffnungen (Rolltüren), die sich in den Seitenwänden der Oefen befinden. Gezogen werden die Blöcke meist von Hand, bei schweren Blöcken unter Benutzung mechanischer Hilfsmittel. Roll- oder Stoßöfen mit Gasfeuerung, die den Vorteil der leichten Regulierbarkeit und bei guter Generatorenführung eines geringen spezifischen Kohlenverbrauchs, geringen

Abbrands und großer Leistung, aber den Nachteil eines hohen Anschaffungspreises haben, werden zur Erzielung höchster Temperaturen und Leistungen mit Rekuperativ- oder Regenerativfeuerungen ausgerüstet. In den Rekuperatoren wird lediglich die Luft im Gegenstrom angewärmt, während im Regenerativverfahren nach Art des Siemens-Martin-Ofens sowohl die Luft als auch das Frischgas in Kammern vorgewärmt wird, was bei minderwertigem Gas zur Erzielung hoher Leistungen erforderlich ist. Die Reinigung der zur Heizung dienenden Gase von Staub und Wasser ist immer zu empfehlen, da sonst Leitungen, Ventile und Schieber leicht verstopft und infolge der dann notwendigen öfteren Reinigung leicht undicht werden.

Die Temperaturen müssen gut regelbar und zu überwachen sein, da schon Temperaturschwankungen des Walzgutes von ca. 100° C den Kraftbedarf beim Warmverarbeiten bis zu 50 % steigern können. Die Temperaturverteilung im Blockofen ist zweckmäßig so zu regeln, daß vom Einsatzende bis zum Anfang des Schweißherdes die Temperatur langsam und stetig zunimmt bis etwa auf eine Blocktemperatur von 800° C. Die Erhitzung auf Walztemperatur von ca. 1000 –1200° C erfolgt im Schweißherd. Die Temperaturmessung geschieht durch Thermoelemente oder durch Strahlungspyrometer. Als Thermoelemente werden im Schweißherd und an den Stellen, wo Temperaturen bis 1500° C auftreten können, Platin-Platinrhodiumdrähte, bis 1100° C Nickel-Nickelchromelemente und bis 800° C Eisen-Konstantan-Elemente benutzt, die zum Schutze gegen Angriffe der Feuergase und des Sauerstoffs der Luft mit Schutzrohren umgeben sind, für die bis 800° C gewöhnliche Eisenrohre, bis 1300° C Rohre aus NCT3-Stahl und bei noch höheren Temperaturen keramische Rohre aus Quarz, Marquardtmasse, oder Silit (SiC) verwendet werden. Die keramischen Rohre entwickeln z. T. Dämpfe, die ebenfalls Platin und Nickel zerstören, weshalb man für solche Fälle zwischen Element und äußerem Rohr noch ein gasdichtes Schutzrohr schaltet. Die Schwierigkeiten der direkten Messung fallen beim Gesamtstrahlungspyrometer fort, das die Erwärmung mißt, die die Lötstelle eines hochempfindlichen Thermoelements erfährt, welche von den Strahlen des zu messenden Körpers getroffen wird. Dementsprechend braucht es nicht direkt in den Feuerraum eingebaut zu werden. Die Strahlungspyrometer haben einen Meßbereich von 600° C bis zu den höchsten Temperaturen.

Zur Kontrolle der Ofenführung werden in modern eingerichteten Betrieben die Temperaturen an verschiedenen Stellen durch Thermoelemente gemessen und fortlaufend durch Temperaturschreiber (Multithermographen), die bis zu 6 verschiedene Meßstellen besitzen, selbsttätig registriert. Diese Einrichtungen sind unbedingt erforderlich, wenn legierte oder Spezialmaterialien, die bezüglich der Wärmebehandlung sehr empfindlich sein können, bearbeitet werden. Die Temperaturmessungen selbst können durch Temperaturregler mit verschiedenen Schaltorganen, wie sie von der Firma Siemens und Halske, Berlin, ausgebildet worden sind, zur automatischen Vermehrung oder Verminderung der Energiezufuhr benutzt werden.

2. Rohrglühöfen.

Zum Nachwärmen gewalzter Rohre zum Zwecke der Weiterverarbeitung auf andere Dimensionen in Reduzierwalzwerken oder auf Kratzbänken dienen Rohrglühöfen, die mit Rücksicht auf den Zweck so gut gebaut sind, daß der Durchsatz ein gleichmäßiger und hoher ist und Beschickung und Entnahme kontinuierlich erfolgen kann. Der Transport im Ofen wird beispielsweise durch einen breiten, nach der Entnahmestelle zu schräg abfallenden Herd erreicht, auf dem die eingeführten Rohre von selbst der Entnahmeseite zurollen, während die Flammen hierzu im Gegenstrom geführt werden. Zweckentsprechende Temperaturverteilung und leichte Temperaturreglung im Herd ist wegen der Forderung gleichmäßiger Temperaturaufnahme der

Rohre über ihre ganze Länge besonders wichtig. Bei diesen Ofengattungen erfolgt die Beschickung und Entnahme in der Regel von Hand, was durch angebrachte Rollen an den Einführungs- und Ziehtüren erleichtert wird.

Zur Vorbereitung der Rohre für weitere Kaltzüge oder für Schlußglühungen der fertigen Rohre, bei denen es auf vollkommen gleichmäßige Wärmebehandlung aller Rohre ankommt, werden solche Rohrglühöfen benutzt, in denen die Rohre chargen- oder kommissionsweise eingesetzt, geglüht und wieder gezogen werden können. Die Beschickung erfolgt durch ein- und ausfahrbare Herde, auf denen die Rohre gestapelt sind. Glühöfen neuerer Konstruktionen haben Chargiervorrichtungen, die den Rohrstapel, der auf Unterlageisen gelegt wird, in den Glühherd einfahren, die Unterlageisen mit den Rohren auf den Herd absetzen und wieder ausgefahren werden können. Der Vorteil dieser Konstruktion liegt darin, daß die Chargiervorrichtung nicht wie bei älteren Ausführungen mitgeglüht und dadurch ihre Lebensdauer herabgesetzt wird. Werden diese Oefen mit 2 Chargiervorrichtungen ausgerüstet, wie es entweder durch eine entsprechende Anordnung zum Querverschieben auf Schienen vor der Eingangstür des Ofens oder mit Hilfe eines von beiden Stirnseiten chargierbaren Ofens zu erreichen ist, so kommt noch der Vorteil der Möglichkeit der zeitlichen, restlosen Ausnutzung des Ofens durch abwechselndes Be- und Entladen und damit Erhöhung der Wirtschaftlichkeit hinzu.

Die Beheizung dieser Rohrglühöfen erfolgt entweder noch durch Halbgasfeuerungen oder, wie heute in den meisten Fällen, durch Gasfeuerung. In den letzten Jahren hat man, um den Einfluß der direkten Flammen auszuschalten, die Fertigglühöfen vielfach mit Muffeln ausgerüstet. Die Muffelöfen sind den für Spezialrohre erforderlichen, geringen Temperaturtoleranzen leichter anzupassen. Sie haben aber andererseits einen bedeutend höheren Kohlenverbrauch und höhere Reparaturkosten, weshalb man in neuester Zeit wieder von ihnen abgekommen ist, besonders da ihre Vorteile auch von den Flammöfen durch sachgemäße Flammenführung und reduzierendes Fahren erreicht wird.

Neuerdings scheinen auch die elektrischen Oefen mit Widerstandsheizung als Rohrglühöfen eine gewisse Bedeutung zu erlangen. Die Vorzüge elektrischer Oefen bestehen neben der durch die Unterteilung der Heizwicklung erreichbaren gleichmäßigen Temperaturverteilung besonders in der durch die Regelung der Stromzufuhr bequemen Einregulierung der Temperaturhöhe und des Temperaturverlaufs, der niedrigen Bedienungskosten und der raschen Betriebsbereitschaft. Hierzu kommt das gänzliche Wegfallen sowohl der Verbrennungsgase als auch deren Zu- und Ableitungen etc., sodaß der Betrieb sauber und einfach gehalten werden kann und die Konstruktion des Ofens leicht ausfällt. Die Heizwickelungen bestehen aus Chromnickeldrähten oder Bändern aus diesem Material und für Temperaturen über 1000° C aus Silitstäben. Der allgemeinen Einführung elektrischer Glühöfen standen bis jetzt noch die verhältnismäßig hohen Stromkosten entgegen, die den Betrieb teurer gestalten als bei Verwendung der bekannten Gasöfen, obgleich die Vorteile des elektrischen Betriebs diesen Nachteil bei gewissen Verhältnissen aufheben können.

b) Antriebe und Antriebsmaschinen.

1. Dampf und Elektrizität.

Die Menschenkraft stellt bei der Rohrfabrikation entsprechend der Größe der bei den verschiedenen Walzverfahren anzuwendenden Kräfte und der umfangreichen Hilfs- und Zurichtarbeiten, die schnell und einwandfrei vor sich gehen müssen, mit der fortschreitenden technischen Entwicklung einen immer geringer werdenden Faktor dar. Besonders der Rohrwalzprozeß erforderte von Anfang an ge-

waltige Kräfte, die nur große Kraftmaschinen leisten konnten. Hierfür stand zunächst die Dampfmaschine zur Verfügung, die, wie bei den anderen Walzwerken, auch in den Röhrenwalzwerken zum Antrieb der Walzenstraßen weitestgehende Verwendung fand. Mit der Vergrößerung der Werke zeigte sich bald ein Nachteil des Dampfantriebes in der Fortleitung des Dampfes auf größere Entfernungen durch die dabei nicht zu vermeidenden Wärmeverluste, die den Wirkungsgrad der Energieausnutzung beeinträchtigten. Außerdem forderte die durch den Konkurrenzkampf notwendig gewordene Senkung der Erzeugungskosten schließlich weitgehende Mechanisierung aller übrigen Hilfsarbeiten, die durch Dampf-, hydraulischen oder Preßluftantrieb nicht überall wirtschaftlich zu lösen war. Erst der Uebergang zum Elektroantrieb brachte die erforderliche Wandlung und die Möglichkeit vollkommener Mechanisierung aller Arbeitsvorgänge mit sich. Der elektrische Strom ist sehr bequem und mit recht geringen Verlusten auf große Entfernungen fortzuleiten. Die elektrische Energie ist zudem mit den höchsten Wirkungsgraden in andere Formen, wie in mechanische Energie, Licht, Wärme usw. umzuformen. Durch diese Eigenschaft eignet sie sich besonders gut zur Zentralisierung, was besonders für die ausgedehnten und verzweigten Hüttenanlagen vielerlei Vorteile bot. Der Dampfmaschinenantrieb der Walzenstraßen, der neben den geringeren Anlagekosten zunächst noch den Vorteil der guten Anpassungsmöglichkeit an schwankende Beanspruchungen bezüglich Tourenzahl und Spitzenleistung gegenüber dem reinen Elektromotorenantrieb für sich hatte, wurde schließlich infolge Einführung der Ilgneraggregate mit Leonardschaltung endgültig durch den elektrischen Antrieb abgelöst. Erst diese Schaltung in Verbindung mit einem Schwungrad zur Aufnahme von momentanen Lastspitzen gab dem Elektromotor die für die Herstellung der verschiedensten Rohrdimensionen auf demselben Walzaggregat erforderliche Eigenschaft der Geschwindigkeitsregulierung durch die Veränderung der Drehzahl in weitesten Grenzen. Daneben bietet die Anlaßschaltung nach Leonard besonders bei großen Walzenzugmotoren, die sehr häufig in Gang gesetzt und wieder ausgeschaltet werden, durch Umgehung des vorgeschalteten Anlaßwiderstandes, der beim Ingangsetzen eines Motors einen Teil der zugeführten Energie vernichtet, große wirtschaftliche Vorteile. Die Leonardanordnung besteht aus einem an das Netz angeschlossenen, mit Nebenschlußwicklung versehenen Anlaßmotor und einer mit ihm unmittelbar gekuppelten Anlaßdynamomaschine. Diese arbeitet auf den Anker des eigentlichen Haupt-Walz-Motors. Anlaßdynamo und Hauptmotor werden vom Netz aus erregt. Vielfach wird zum Belastungsausgleich der Anlaßmotor mit einem Schwungrad nach der Methode von Ilgner ausgerüstet. Das Schwungrad wird während der Ruhepausen oder beim Leerlauf durch die dem Netz entnommene elektrische Energie beschleunigt. Bei der darauf folgenden Arbeitsperiode gibt es einen Teil der aufgespeicherten Energie wieder ab, wodurch eine ziemlich gleichbleibende Belastung des Stromerzeugers erzielt wird. Das Schwungrad vertritt demnach dabei die Stelle einer Akkumulatorenbatterie, nur daß hier die Aufspeicherung nicht in elektrischer, sondern in mechanischer Energie erfolgt. Das Schwungrad wird in der Regel mit mechanischer und elektrischer Bremsvorrichtung ausgerüstet.

In den Röhrenwalzwerken ist das Leonardsystem mit Gleichstromwalzmotor u. a. unentbehrlich geworden zum Antrieb der durch die hammerartigen Stöße ungleich belasteten Pilgerschrittwalzwerke und der modernen Rohrstoßbänke, während für die Schrägwalzen, die nur unter einem verhältnismäßig kurzfristigen Kraftanstieg vom Leerlauf bis zum Maximum belastet sind, neben dem Ilgnerantrieb auch noch reiner Drehstrommotorantrieb ausreicht.

Außer für die Hauptantriebe der Walzenstraße ist der elektrische Antrieb als Gruppen- oder heute mehr und mehr als Einzelantrieb für

die Kalt- und Warmziehbänke, zur Bedienung der Einstellvorrichtungen an den Walzen, für Pumpenantriebe und für die verschiedensten Bearbeitungsmaschinen zur Erreichung einer möglichst großen Wirtschaftlichkeit und Anpassungsfähigkeit bei schwankender Produktion unentbehrlich geworden. Die Leistungsfähigkeit der Laufkrane, die meist mit 3 Motoren, einem für das Heben der Last, einem zur Seitenbewegung der Laufkatze und einem zur Längsbewegung des Laufkrans ausgerüstet sind, ist durch den elektrischen Antrieb wesentlich erhöht worden. Die Rohknüppel und der anfallende Schrott werden von Kranen mit großen Hüb-Elektromagneten leicht und schnell angehoben und zur Lager- bezw. Verladestelle gebracht. Für leichtere Lasten wird der schnellhebende und bis zu 40 m Geschwindigkeit fahrende Elektroflaschenzug vorteilhaft verwendet. In den älteren Rohrbetrieben wurde der Transport des Walzgutes noch durch Menschenkraft und nur zum Teil durch Krane bewältigt, was neben der Ungleichmäßigkeit der Versorgung der einzelnen Maschinen einen verhältnismäßig hohen Lohnaufwand für die hierzu zahlreich benötigten Leute bedingte. In modernen Anlagen läuft das Walzgut vom Ofen bis zur Fertigmacherei entweder auf in Gruppen elektrisch angetriebenen Rollgängen, Hebetischen und Kühlbetten, die durch wenige, auf Steuerbühnen aufgestellte Leute gesteuert werden, oder, was als Optimum der Wirtschaftlichkeit zu bezeichnen ist, auf Rollen mit Einzelantrieb, die durch das Gewicht des ankommenden Walzgutes ihren in sich eingebauten Motor ein- und beim Verlassen der Rolle wieder selbsttätig ausschalten. Da der Kraftbedarf der Antriebsmotore niedrig ist und die Wartung wenig Aufwand erfordert, liegt die damit erreichbare Wirtschaftlichkeit auf der Hand.

Die allgemeine Einführung des elektrischen Antriebs hat durch die damit geschaffene Möglichkeit des raschen Produktionsablaufs überhaupt erst die Umstellung der Rohrwalzwerke auf wirtschaftliche Massenerzeugung möglich gemacht.

2. Hydraulische Antriebe:

In Rohrwerken hatte die hydraulische Kraftübertragung von jeher eine gewisse Bedeutung, sei es zur Prüfung der fertigen Rohre mittels Preßwassers auf Innendruck durch Prüfpressen, zur Aufweitung oder Einziehung der Rohrenden fertiger Rohre auf Stauch- und Rohrkaliberpressen oder zur Erzeugung von Hohlkörpern auf schweren Loch- und Ziehpressen wie beim Ehrhardt-Verfahren.

Die Speicherung der hydraulischen Energien ist in den letzten Jahrzehnten wesentlich vervollkommnet worden. Ueber den einfachen Wasserbehälter, der für hydraulischen Antrieb hochstehend angeordnet wurde, ging die Entwicklung über den geschlossenen, mit geringem Luftdruck belasteten Wasserbehälter, den sogenannten Windkessel, zum Niederdruckwasserspeicher und schließlich zum Hochdruckakkumulator, der für größere Kraftübertragung heute allein in Frage kommt.

In früheren Jahren verwendete man zum Aufspeichern von Hochdruckpreßwasser nur Gewichtsakkumulatoren, die den hydraulischen Druck durch den Druck von schweren Gewichten (Blei, Schwerspat, Gußeisen, Schrott usw.) auf dem über Wasser stehenden Kolben eines vertikalen Zylinders erzeugten. Der Gewichtsakkumulator besaß außer der starken Abnutzung der Plunger und der Dichtungen, die ständige Wartung verlangen, den Nachteil großen Raumbedarfs und schwerer Fundamente. Außerdem bestand bei stärkerer Wasserentnahme, infolge seiner schweren Massen, die Möglichkeit des Auftretens von Druckerhöhungen durch Stöße, die zu Rohrbrüchen und damit zu Unfallgefahren führen können. Diese Nachteile sind bei den in den letzten Jahren entwickelten Druckluftakkumulatoren vermieden worden. Man unterscheidet heute

1. Druckluftakkumulatoren mit Kolben und
2. Druckluftakkumulatoren ohne Kolben.

Die ersten Druckluftakkumulatoren hatten einen hydraulischen Kolben, der mit einem größeren, in einem Luftzylinder arbeitenden Luftkolben verbunden war. Der Luftdruck war im Verhältnis der Kolbenflächen geringer als der Wasserdruck. Der Nachteil dieser Akkumulatoren lag immer noch in der großen Zahl der zu wartenden Dichtungsstellen. Durch Erhöhung des Luftdruckes auf den Wasserdruck kam man mit nur einem Kolben aus, der auf der einen Seite gegen Wasser und auf der anderen gegen Luft arbeitete. Aber auch diese Ausführung hat noch gewisse Mängel, die besonders bei größeren Abmessungen in der Dichtung zwischen Kolben und Zylinder liegen und bei unvermeidlichen Störungen längere Betriebsstillstände zur Folge haben.

Der Uebergang zu kolbenlosen Druckluftakkumulatoren nach den Patenten der Hydraulik G. m. b. H. Duisburg, die aus einer Druckluftflasche und einer oder mehreren Wasserflaschen bestehen, beseitigte auch diese Störungsmöglichkeiten. Die Wasserstandsregulierung der ersten kolbenlosen Akkumulatoren geschah durch einen im Inneren befindlichen Schwimmer, der die Steuerorgane durch ein Gestänge schaltete. Neuerdings ist auch der Schwimmer fortgefallen, sodaß nunmehr keinerlei Einbauteile mehr im Innern der Wasserflasche vorhanden sind. Die Betätigung der außenliegenden Steuerorgane erfolgt automatisch durch den Wasserstand und zwar durch Uebersetzung des Wassergewichts über kommunizierende Röhren mit Quecksilberspiegel auf elektrische Steuereinrichtungen. Beim evtl. Versagen der elektrischen Steuereinrichtung wird unzulässiges Fallen des Wasserspiegels unter den niedrigsten Stand und das Uebertreten von Luft in die Verbrauchsleitung durch selbsttätig wirkende Absperrventile in der Preßwasserleitung verhütet.

Die Vorteile der kolbenlosen Druckluftakkumulatoren sind zusammengefaßt folgende:

1. geringer Raumbedarf, jedenfalls wesentlich geringer als beim Gewichtsakkumulator,
2. keine Stöße durch eventuelles Hängenbleiben der Gewichte und damit geringe Gefahr für die Druckleitungen,
3. Fortfall der dem Verschleiß ausgesetzten Teile an den schwer zugänglichen Stellen,
4. leichte Vergrößerungsmöglichkeit der Anlage durch Hinzuschalten neuer Druckwasser- bzw. Luftflaschen.

Die Anwendung von Druckwasser für Antriebe hat sich für viele Zwecke infolge der auch auf diesem Gebiete erreichten technischen Fortschritte und Vereinfachungen in großem Umfange trotz stärkster Konkurrenz der Elektrizität erhalten. Gerade für rauhe Betriebe eignet sich der hydraulische Antrieb durch den Fortfall empfindlicher Zwischenteile und der Anwendungsmöglichkeit recht großer Uebersetzungsverhältnisse. In Rohrwerken wird das Druckwasser vorteilhaft für Loch- und Ziehpressen des Ehrhardtverfahrens, für Strangpressen, Kalibrier- und Stauchpressen, Rohrprüfpressen, zum Antrieb von mechanisch-hydraulischen Auswerf- und Hebevorrichtungen, für den Betrieb schwerer Schlitten- und Hebelsägen usw. angewendet.

3. Preßluftantrieb.

Neben die elektrischen und Druckwasserantriebe tritt als drittes Kraftübertragungsmittel in den Röhrenwerken der Preßluftantrieb. Die Preßluft hat sich, trotz der Konkurrenz der zweifellos wirtschaftlicheren elektrischen Kraftübertragung, in allen modernen Betrieben nicht nur behauptet, sondern ihr Anwendungsgebiet noch dort vergrößert, wo es sich um Druck- oder Schlagleistungen durch stoßweise hin- und hergehende Maschinen, um rauhe Arbeitsplätze, rohe Behandlung der Werkzeuge und um mögliche Ueberlastungen handelt.

Die in der Regel auf 6 atü komprimierte Luft wird zentral durch Kompressoren, die vorzugsweise durch Elektromotoren oder auch durch Dampfmaschinen und Transmissionen angetrieben werden, erzeugt und durch Rohrleitungen an die angeschlossenen Betriebe verteilt. In den Röhrenwerken wird sie hauptsächlich in der Zurichterei für die selbttätigen Festspann- und Löseeinrichtungen der verschiedenen Arbeitsmaschinen, zum Betrieb tragbarer Preßluftwerkzeuge, wie Hämmer, Meißel, pneumatische Schleif- und Bohrmaschinen usw., aber auch in den übrigen Betriebsstätten wie z. B. für Auswerf- und Kippvorrichtungen an den Rohrtransportrollgängen, zum Betrieb von Druckluft-Anspitzhämmern, Hebewerkzeugen, zum Transport von Säure und Flüssigkeiten nach und aus den Transportkesseln usw. verwendet.

c) Adjustagemaschinen.

1. Richtmaschinen.

In der Zurichterei ist das Richten der Rohre Vorbedingung für die Weiterverarbeitung. Während dünnwandige Präzisionsrohre heute noch in Richtböcken von Hand durch geübte Arbeiter (Rohrrichter) nach dem Auge gerade gerichtet werden, verwendet man für Rohre größeren Durchmessers und stärkerer Wandstärke von jeher Richtmaschinen und zwar sogenannte Stempel-, Rollen- und Schrägwalzenrichtmaschinen. Die Stempelrichtmaschinen werden für starkwandige Rohre benutzt, wobei die Rohre von Hand über 2 Auflagen geschoben werden, während ein durch Excenterantrieb mechanisch bewegter Stempel den nach oben gedrehten Scheitel des zu richtenden krummen Rohrstücks beim Niedergehen durchdrückt. Das Richten geschieht hier ebenfalls nach dem Auge. Der Antrieb erfolgt durch einen direkt gekuppelten Elektromotor, der zum Ausgleich der periodisch auftretenden Kraftspitzen mit einem Schwungrad ausgerüstet ist. Die Richtleistung solcher Richtmaschinen ist natürlich wegen der Bewegung des Richtgutes von Hand nur gering; sie sind jedoch für viele Fälle unentbehrlich und noch heute im Gebrauch.

Für Rohre kleineren Durchmessers und dünnerer Wandstärke ist die Rollenrichtmaschine in Gebrauch, die die Rohre beim Durchgang automatisch gerade richtet. Bei ihr sind die Auflagen und der Stempel der Stempelrichtmaschine durch mehrere um 90° versetzte Stempel- und Auflagerollen mit eingedrehtem Rohrkaliber ersetzt worden, von denen meist das erste und das letzte Rollenpaar angetrieben ist, die den Durchgang der Rohre besorgen. Beim Uebergang auf andere Rohrdimensionen müssen jedesmal die Rollen durch entsprechend anders kalibrierte ausgetauscht werden. Diesen Nachteil, der teure Umbauzeiten erfordert, hat die dritte Rohrrichtmaschinengattung, die Schrägwalzenrichtmaschine, nicht. Anstelle der Auflagen und der Stempel besitzt sie mehrere schräg zur Rohrachse gelagerte Walzen, von denen meist zwei angetrieben sind, während diesen in der Regel drei etwas kürzere Walzen, die eine den angetriebenen entgegengesetzte, aber unter sich parallele Achsneigung haben, gegenüberstehen und nur lose mitlaufen. Die Form sämtlicher Walzen ist hyberbolisch. Die mittlere der nicht angetriebenen Walzen ist verstellbar und versieht die Aufgabe des Stempels. Die Richtarbeit wird in einem einzigen Durchgang des Rohres erledigt, sodaß ca. 120—200 Rohre von 8 -1 m Länge pro Stunde gerichtet werden können. Die erste Rohrrichtmaschine nach diesem Prinzip wurde in Amerika gebaut, von wo sie sich als „Abramson'sche Rohrrichtmaschine" auch auf dem Kontinent rasch einbürgerte. Nach ihrem System sind heute fast alle modernen Schrägwalzenrichtmaschinen gebaut.

2. Abstechbänke.

Das Schneiden der Rohre auf „fixe Längen" oder das Abschneiden von Abfallenden kann auf verschiedene Weise erfolgen. Primitiv

ist das Absägen auf Bügelsägen nicht nur wegen der Umständlichkeit des Ein- und Ausspannens, sondern weil es noch mit Schneidgrad behaftete Rohrenden ergibt. Bessere Schnitte erzeugt die Kreissäge, wenn die Sägeblätter entsprechend fein gezahnt sind und der Vorschub nicht zu rasch eingestellt wird. Einwandfreie Schnitte werden auf den drehbankartig ausgebildeten Rohrabstechbänken erzielt. Diese besitzen eine Hohlspindel, durch die das Rohr geschoben und durch eine mechanische Klemmvorrichtung festgespannt wird. Das rotierende Rohr wird darauf mit einem Drehmeißel, der wie an der Drehbank auf einem beweglichen Support festgespannt ist, abgestochen. Derartige Abstechbänke werden auch als halb- und vollautomatisch arbeitende Maschinen, bei denen das Festspannen, der Vorschub und das Abspannen automatisch erfolgt, gebaut. In der Regel sind die Maschinen mit elektrischem Einzelantrieb ausgerüstet, während das Festspannen und Lösen durch Druckluft erfolgt. Für besonders hohe Leistungen sind in den letzten Jahren Abstechbänke mit umlaufenden Stählen auf den Markt gekommen. Diese haben zunächst den Vorteil, daß das abzustechende Rohr feststeht, wodurch die Unfallgefahr, die bei den erst beschriebenen Bänken durch die rotierenden Rohre besteht, ausgeschaltet ist. Die Rohre werden in diesen Maschinen durch einen unmittelbar vor den Stählen liegenden Preßluftschraubstock mit einem einfachen Hebelgriff festgespannt. Hierauf wird durch einen zweiten Hebelgriff der Stahlvorschub in Bewegung gesetzt, der je nach der Rohrwandstärke vermittelst eingebauter Uebersetzungen z. B. durch Nortongetriebe) verschieden hoch eingestellt werden kann. Nach beendetem Schnitt schalten sich die Stähle selbsttätig in ihre Ausgangsstellung zurück.

3. Gewindemaschinen.

Zum Schneiden der Gasgewinde auf Gas- und Dampfrohre werden heute ebenfalls automatisch arbeitende Maschinen benutzt. Die Rohrgewindeschneidmaschinen besitzen einen durch eine Stellvorrichtung zu betätigenden, selbstöffnenden und schließenden Gewindeschneidkopf. In diesem befinden sich auswechselbare „Tangential-Strehlerbacken", das sind Gewindeschneidbacken, die durch einfaches Nachschleifen bis auf kurze Reststückchen aufgebraucht werden können, die spanabhebend mit hoher Schnittgeschwindigkeit das Gewinde unter gleichzeitiger zwangläufiger Gewindeführung an die Rohrenden anschneiden. Mit einem Satz Strehlerbacken können die verschiedensten Rohrdurchmesser mit zylindrischem oder kegeligem Gewinde gleicher Steigung versehen werden. Für die Massenerzeugung sind auch die Gewindeschneidmaschinen mit automatischem Zu- und Ablauf der Rohre,selbsttätiger Festspann- und Auswerfvorrichtung etc. versehen worden, die ein ununterbrochenes, automatisches Arbeiten gewährleisten. Der Antrieb der Maschinen erfolgt entweder durch Transmission oder durch elektrischen Einzelantrieb.

4. Rohraufweit- und Einziehpressen, Prüfpressen.

Für manche Zwecke müssen gewisse Rohrarten an den Enden auf eine bestimmte Länge eine Aufweitung oder Verengung ihres Durchmessers oder auch eine Wandstärkenverdickung erhalten. Diese Arbeiten werden bei kleinen Durchmesseränderungen meist in kaltem Zustand mit nachfolgender Glühung der verformten Rohrenden oder bei größeren Rohren, infolge der erforderlichen größeren Stauchkräfte, im warmen d. h. glühenden Zustand der Rohrenden auf horizontalen oder kombinierten horizontalen und vertikalen Pressen durchgeführt. Diese Pressen haben meist für kleine und mittlere Rohrdurchmesser hydraulischen oder elektrisch-mechanischen Antrieb oder beide Antriebsarten kombiniert, während für größere Rohrdurchmesser wegen der erheblichen Dornarbeitskräfte rein hydraulischer Antrieb erforderlich ist.

Das Abpressen aller fertigen Rohre auf den je nach der Verwendungsart unter Umständen gesetzlich vorgeschriebenen Wasserdruck erfolgt auf Prüfpressen, in die die Rohre mechanisch einrollen, wo sie mit Abdichtvorrichtungen, wie Ledermanschetten oder Gummidichtungen, gegen die Druckwasserleitung abgedichtet, mit Niederdruckwasser gefüllt und alsdann durch Oeffnen des Preßwasserventils auf bestimmten Druck abgepreßt werden. Der Prüfdruck wird kurze Zeit auf dem Rohr gelassen und durch eingebaute Kontrollmanometer beobachtet.

d) Beizerei und Verzinkerei.

1. Beizeinrichtungen.

Die Entfernung des nach den Glüh- oder Warmwalzvorgängen infolge Oberflächenoxydation auf den Rohroberflächen sitzenden Glühzunders oder der Walzhaut zum Zwecke der Weiterverarbeitungsmöglichkeit der Produkte geschieht durch Beizen in Säurebädern. Die Beizeinrichtungen bestehen aus kastenförmigen Bottichen, die die verdünnte Säurelösung (meist Salzsäure oder Schwefelsäure) aufnehmen und in welche die zu behandelnden Rohre in ihrer ganzen Länge gelegt werden. Zum Transport und dem Ein- und Ausheben der Rohre müssen Krane zur Verfügung stehen, an welche die zu Rohrbündeln in gußeisernen Bügeln oder solchen aus Bronze oder in Ketten aus Aluminiumbronze oder Monelmetall zusammengelegten Rohre angehängt werden. Die Krane haben oft Spezialeinrichtungen, die gestatten, die Rohrbündel beim Beizen zu schütteln oder wechselseitig an den Enden zu heben und zu senken, damit auch im Rohrinnern ein möglichst schneller Säureumlauf zur Erreichung eines gleichmäßigen Abbeizens stattfindet. Wird das Beizgut selbst nicht bewegt, so ist durch Einbau mechanischer Vorrichtungen (Beizmaschinen) in die Behälter für ein dauerndes Bewegen der Beizflüssigkeit zu sorgen. Die Beizbottiche selbst können aus Holz, Holz mit Bleiverkleidung, Beton, Granit oder in neuerer Zeit auch aus Kunstharzprodukten (z. B. Hawegmaterial) hergestellt werden.

Die Holzbottiche haben von allen die kürzeste Lebensdauer und werden im Betrieb oft durch vorzeitige Zerstörung ihrer metallischen Halteschrauben undicht. Als zweckmäßig für Schwefelsäurebeizbäder hat sich die Auskleidung der Holzbottiche mit Bleiblechen, die homogen zusammengeschweißt werden, erwiesen. Zum Schutze gegen mechanische Beschädigungen durch das Beizgut werden vorteilhaft in die bleiausgeschlagenen Bottiche Holzroste eingelegt. In früheren Jahren hat man auch Bottiche aus ganzen Granitblöcken ausgearbeitet. Seitdem gute, säurefeste Kitte im Handel sind, fertigt man die Granitbottiche aus Granitwürfeln an und setzt sie mit säurefestem Kitt zu Behältern zusammen. Neuerdings werden mehr und mehr Bottiche aus Beton, die im Innern gegen den Säureangriff mit säurefesten Klinkern ausgemauert sind, angewandt. Beizbehälter aus Kunstharzen sind bislang noch wenig verbreitet.

Die mit Schwefelsäure arbeitenden Beizereien, deren Bäder zur optimalen Ausnutzung eine Temperatur von 50—70° C haben sollen, müssen ihre Beizbottiche mit Heizvorrichtungen eingerichtet haben. Dies geschieht meistens durch eine an den Boden der Behälter gelegte Bleischlange, die mit Dampf geheizt wird.

Neben den Beizbottichen sind noch Spülbottiche für Wasser in angepaßten Größenverhältnissen zur Reinigung der Rohre von den anhaftenden Eisensalzen und zur Neutralisierung für die weitere Lagerung in Seifenwasserlösung für die anschließenden Kaltzüge erforderlich.

2. Rohrverzinkerei.

Der Teil der Röhrenproduktion, der als Hausanschlußleitungen für Wasserleitungen usw. Verwendung finden soll, muß nach der

Fertigstellung verzinkt werden. Das Verzinken erfolgt in der Regel als Feuerverzinkung. Die Zinkbäder befinden sich in entsprechend langen, eisernen, heizbaren Wannen, in denen das Zink auf einer Temperatur von ca. 420—460° C gehalten wird. Die Wandungen der Wannen dürfen, wegen der infolge des hydrostatischen Drucks des geschmolzenen Zinks und der hohen Temperatur auftretenden Beanspruchung einerseits und der nicht zu vermeidenden Anfressung der Wandungen durch Hartzinkbildung andererseits, 25 -30 mm Stärke nicht unterscheiden. Gewöhnlich sind die Wannen aus kohlenstoffarmen, durch Wassergasschweißung verbundenen Siemens-Martinblechen hergestellt. Genietete Behälter haben sich nicht bewährt, da die Niehtnähte, infolge der dort durch die Kaltbearbeitung begünstigten Korrosion, verhältnismäßig rasch undicht werden. Eine gute Verzinkung ist nur möglich, wenn das zu verzinkende Eisen mit metallisch reiner Oberfläche mit oxydfreiem Zink in Berührung gebracht wird. Das Zinkbad ist deshalb an der Stelle, an der die Einführung der Rohre in das flüssige Zink erfolgt, mit einem Flußmittel (meist Ammoniumchlorid) bedeckt. Das Flußmittel hat die Aufgabe, die Eintrittsstelle im Zink frei von Oxyden zu halten und zugleich von der Rohroberfläche alle noch vorhandenen Fremdkörper, z. B. die von der Beize etwa noch anhaftenden Eisensalze abzulösen. Die Rohre werden auf der einen Seite des Bades durch die Flußdecke in das Zinkbad eingeführt und auf dem vom Flußmittel nicht bedeckten Teil des Bades herausgehoben, wobei das überschüssige Zink durch Asbestschlingen o. ä. abgestreift wird. Hiernach kühlen die Rohre entweder an der Luft ab oder sie werden zur Erzielung eines bestimmten Oberflächenglanzes in reinem Wasser abgeschreckt.

D. Die Absatzorganisation.

Die Sorge um die Rentabilität hatte schon 1877, also noch bevor in Deutschland zum Schutze der Eisenindustrie Schutzzölle eingeführt werden mußten, die Röhrenwerke veranlaßt, sich zum Schutze vor gegenseitiger Unterbietung und zwar zunächst auf dem Gebiete der Gasrohrerzeugung zusammenzuschließen. Die erste Gasrohr-Konvention 1877 war eine Preiskonvention. Sie wurde gebildet von den Werken:

1. Düsseldorfer Röhren- und Eisenwalzwerk, Düsseldorf,
2. Balcke, Tellering & Co, Benrath,
3. Albert Hahn, Berlin und Düsseldorf,
4. I. P. Piedboeuf & Co, Düsseldorf-Eller,
5. S. Huldschinsky & Söhne, Gleiwitz,
6. Müllers & Co, Ehrenfeld-Köln.

Der Zusammenschluß der Gasrohrkonvention wirkte ermutigend auf die Siederohrfabrikanten, die nun 1879 ebenfalls eine Konvention schlossen, die außer den erwähnten Werken noch

1. Die Lauchhammer Ver. vorm. gräfl. Einsiedel'sche Eisenwerke zu Riesa und
2. Thyssen & Co, Mülheim

umfaßte.

Diese Preiskonventionen waren jedoch auf die Dauer nicht befriedigend, da trotzdem noch immer Preisunterbietungen der Werke stattfanden, sodaß immer mehr Forderungen auf Bildung eines festen Röhrensyndikats erhoben wurden. Die Furcht der Einzelwerke vor Aufgabe des bis jetzt noch immer selbständigen Verkaufs der Erzeugnisse mag Schuld gewesen sein, daß es nicht zum Abschluß eines Syndikats kam. Man blieb lieber zunächst noch bei der Konvention, die immer wieder aufgelöst und verlängert wurde. Erst 1893 kam schließlich das erste Syndikat „Das Gas- und Wasserrohrsyndikat" als gemeinschaftliche Verkaufsstelle für das Inland zustande, das gleichzeitig Preis-, Produktions-, Gewinnausgleichs- und Vertriebskartell

war. Für Siederöhren dauerte es infolge der Beunruhigung durch die aufkommende Konkurrenz der nahtlosen Rohre der Mannesmannwerke noch bis 1895, ehe auch hier ein Syndikat, ebenfalls nur für das Inland, gebildet wurde. Das Gasrohrsyndikat wurde 1903 auch für den Auslandsverkauf ausgebaut, während dies für Siederohre nicht gelang. Der Grund lag darin, daß die Mannesmannröhrenwerke, angespornt durch ihre technischen Erfolge bei der Herstellung nahtloser Rohre, eigene Verkaufsorganisationen im Auslande eingerichtet hatten, die gute Erfolge zeitigten und die die Mannesmannröhrenwerke nicht opfen wollten. Die Erfolge der Mannesmannröhrenwerke auf ihren Spezialgebieten und der Schutz der Alleinherstellung, den sie mit Recht dafür verlangten, war es schließlich auch, der im Jahre 1910 das Gas- und Siederohr-Syndikat auffliegen ließ. Die darauf einsetzende verbandslose Zeit wurde zu einer Zeit schärfsten Wettbewerbs zwischen den Werken, der eine Reihe von ihnen zum Opfer fiel, während die Mannesmannröhrenwerke durch ihre fortgeschrittenen Erfahrungen auf dem Gebiet der nahtlosen Rohre, besonders in Sonderausführungen, und durch ihre Auslandsverkaufstellen ihre Machtstellung befestigten. Bei Ausbruch des Krieges bestand noch immer ein vertragloser Zustand. Im Kriege wurde schließlich auf Drängen der Regierung zur Durchführung der Kriegsmaterialerzeugung und zum Zwecke einer sparsamen Verwendung der vorhandenen Rohstoffe im Jahre 1915 wieder eine Vereinigung der Röhrenwerke herbeigeführt, die indessen nur formal bestehen blieb. Der nach dem Kriege einsetzende Ausverkauf Deutschlands infolge der Markentwertung und das damit verbundene Aufblühen der Industrie (Scheinkonjunktur) war zunächst immer wieder einer erneuten Syndikatsbildung hinderlich. Erst die Stabilisierung der Währung ließ erkennen, welche Wunden die Inflation der deutschen Wirtschaft und damit auch den röhrenherstellenden Firmen geschlagen hatte und daß für Preisunterbietungen und dadurch bedingte weitere Verluste keine Substanz mehr vorhanden war. Unter dem Zwang dieser Erkenntnis kam es dann auf der Versammlung der Röhrenwerke vom 14. März 1925 zur Bildung eines neuen Röhrensyndikats, dem „Röhrenverband G. m. b. H.", mit einem Stammkapital von 20 000,— RM, dem die nachstehenden Werke als Mitglieder beitraten:

1. Mannesmannröhrenwerke AG, Düsseldorf,
2. a) August Thyssen-Hütte Gewerkschaft,
   Abt. Mühlheimer Stahl- und Walzwerk, Mülheim,
   b) August Thyssen-Hütte Gewerkschaft Hamborn,
   Abt. Walzwerk Dinslaken in Dinslaken,
3. Preß- und Walzwerk AG, Reisholz b. Düsseldorf,
4. Phönix Aktiengesellschaft für Bergbau und Hüttenbetrieb, Düsseldorf,
5. Gebo Ver. Röhrenverkauf, G. m. b. H., Düsseldorf,
6. Rheinische Stahlwerke, Abt. Röhrenwerke in Hilden,
7. Hahn'sche Werke AG, in Großenbaum und Berlin,
8. Rheinische Metallwaaren- und Maschinenfabrik AG, Düsseldorf,
9. Eschweiler-Ratinger-Metallwerke, Aktiengesellschaft, Ratingen,
10. Oberschlesische Eisenbahnbedarfs AG in Gleiwitz,
11. Hallesche Röhrenwerke AG in Halle (Saale),
12. Homburger Eisenwerke AG vorm. Gebr. Stumm in Homburg-Pfalz,
13. Linke-Hoffmann-Lauchhamer AG, Berlin,
14. Kammerich-Werke AG in Berlin,
15. Masch.-Fabrik und Eisengießerei Saaler AG, Tenningen (Baden),
16. Eschweiler Bergwerksverein AG, Eschweiler-Aue.

Es sei anschließend hieran gleich noch erwähnt, daß nach dem Vorbilde des Röhrenverbandes am 15. März 1926 der Schweißrohr-

verband G. m. b. H. Mühlheim (Ruhr) gegründet wurde, dem sich folgende Werke anschlossen:

1. Mannesmannröhrenwerke AG,
2. August Thyssen-Werke, Mülheim und Hamborn,
3. Phönix, Aktiengesellschaft, Düsseldorf,
4. Gelsenkirchener Bergwerks- und Hütten-AG,
5. Rheinische Stahlwerke AG, Düsseldorf,
6. Preß- und Walzwerk AG, Reisholz b. Düsseldorf,
7. Borsigwerke AG in Oberschlesien.

Der Verband übernahm den Vertrieb aller großen wassergasgeschweißten Rohre für das In- und Ausland.

Der Vorteil des neugebildeten Röhrensyndikats gegenüber dem früheren bestand in der Zuweisung der Aufgabe, sämtliche Produkte der deutschen Röhrenwerke für das Inland und das Ausland zu vertreiben, wozu ihm die gut ausgebauten Exportorganisationen der Mannesmannröhrenwerke und der Vereinigten Stahlwerke übergeben wurden.

Der Vertrag selbst führte für die Werke einen weitgehenden Fabrikationsschutz (Gruppenschutz) ein, derart daß Röhrenerzeugnisse, die bisher von einem Werk nicht fabriziert wurden, während der Dauer des Vertrages von dem betreffenden Werk nicht hergestellt werden durften. Die Quotenverteilung richtete sich nach einer bereits im Jahre 1921 als Folge damaliger Vorbesprechungen der Werke durch eine technische Kommission erfolgten Festsetzung der Leistungsfähigkeit nach den vorhandenen, im Bau befindlichen und bis zum 20. 4. 1921 in Bestellung gegebenen Anlagen. Die Gesamtleistungsfähigkeit wurde damals zu 1 560 000 to pro Jahr, was dem Dreifachen des damaligen Absatzes entsprach, ermittelt. Jedes beteiligte Werk erhielt eine Hauptquote, die ihm einen prozentualen Anteil vom Gesamtauftragseingang sämtlicher Rohrsorten sicherte. Außerdem wurde der Begriff der Hilfsquote neu eingeführt, der jedem Werk nach Möglichkeit seinen auf ihn fallenden Teil der Hauptquote in den für sein Walzprogramm passenden Abmessungen sicherte. Innerhalb der beiden gebildeten Gruppen der Gas- und Siederöhren wurde eine Zahl von Artikeln dem selbständigen Verkauf der Werke überlassen, die jedoch ebenfalls mengenmäßig erfaßt und angerechnet wurden.

Der Verband wurde zunächst auf 7 Jahre fest abgeschlossen. Zum Schutz der Einzelmitglieder wurde die vorzeitige Kündigungsmöglichkeit bei Aufkommen neuen Wettbewerbs, wenn dieser 3 Prozent der Gesamtbeteiligungsziffer des Verbandes übersteigt, in den Vertrag aufgenommen.

Durch die im Jahr 1926 erfolgte Gründung der Vereinigten Stahlwerke Aktiengesellschaft wurde die Beteiligungsziffer der nachstehenden Werke auf die Vereinigten Stahlwerke übertragen:

1. August Thyssenhütte Gewerkschaft, Abt. Mühlheimer Stahl- und Walzwerke, Mülheim (Ruhr),
2. August Thyssenhütte Gewerkschaft, Walzwerk, Dinslaken,
3. Gebo, Ver. Röhrenverkauf G. m. b. H., Düsseldorf,
4. Phönix AG für Bergbau und Hüttenbetrieb, Düsseldorf,
5. Rheinische Stahlwerke AG, Abt. Röhrenwerke in Hilden.

Der Röhrenverband regelte den Verkauf durch Verträge mit dem Großhandel, dem sowohl die Gruppe der Werkshändler (von den einzelnen Werken gegründete Handelsgesellschaften), wie die freien Händler zugehören. In diesen Verträgen verpflichtete sich der Verband, Handelsröhren nur über den Großhandel abzusetzen, während der Großhandel die Pflicht übernahm, sich zu Händlervereinigungen zusammenzuschließen, in die die kleineren Händler eingeschlossen sein sollten. Dieser Zusammenschluß erst brachte eine allgemeine Regelung der Weiterverkaufspreise unter Kontrolle des Verbandes

mit sich, wobei die freien Händler, die in der Norddeutschen, der Rheinisch-Westfälischen und der Süddeutschen Röhrenhändlervereinigung organisiert sind und die Werkshändler im Weiterverkauf vollkommen gleichgestellt wurden. Lediglich im Einkauf wurde den Werkshändlern ein kleiner Vorzug eingeräumt mit Rücksicht auf die ihnen im Interesse des Verbandes und der gleichmäßigen Beschäftigung der Werke auferlegte Verpflichtung der größeren und vielseitigeren Lagerhaltung, die ihnen naturgemäß größere Unkosten verursacht. Die nun bereits seit 8 Jahren bestehende feste Bindung des Handels hat sich durchaus bewährt und damit besonders in den Krisenjahren bewiesen, daß der Weg von den vor dem Kriege beliebten Preiskonventionen zu festgefügten Verbänden mit Erfassung des Handels der richtige war, um die die einzelnen Unternehmungen schädigenden ungesunden Wettbewerbe auszuschalten.

Die Gas- und Siederöhren werden zu festliegenden Bruttopreisen verkauft, von denen von Zeit zu Zeit neu geregelte hohe Rabattsätze abgehen.

Während nun für die meisten Erzeugnisse der Schwereisenindustrie das Gewicht als Basis dient, fundieren seit jeher die Rohrpreise auf Längen, sind also Meterpreise. Diese Berechnungsart hat sich zwangsweise daraus ergeben, daß Uebergewichte bei Hohlkörpern prozentual bedeutend größere Differenzen zum Gewicht ergeben als bei Vollwalzprodukten, wodurch die Kalkulationsgrundlage der einkaufenden und weiterverarbeitenden Gruppen, da die Gewichtseinheit für Röhren natürlich wesentlich teurer ist als für Walzmaterial, auf unsicheren Füßen stehen müßte. Die Meterpreise sichern den Käufer vor Ueberraschungen solcher Art. Andererseits haben die Röhrenwerke mit der Meterpreisfestsetzung das Risiko zu tragen, evtl. Uebergewichte nicht bezahlt zu erhalten. Dies wirkt aber erzieherisch auf die Betriebe und fordert vom Hersteller im eigenen Interesse eine möglichst genaue Einhaltung der vorgeschriebenen Wandstärkenmaße, womit letzten Endes auch der Qualität und der Gleichmäßigkeit der Produkte am besten gedient ist.

Als Bruttopreise gelten für die normalen Abmessungen:

1. Für Gasrohre:

1/4	"	=	1,-- M/m
1/2	"	=	1,25 "
1	"	=	2,40 "
1 1/2	"	=	4,20 "
2	"	=	5,90 "
2 1/2	"	=	10,10 "
3	"	=	11,80 "
4	"	=	18,50 "

2. Für Siederohre:

38	mm	=	2,82 M/m
57	"	=	3,50 "
76	"	=	4,75 "
89	"	=	6,15 "
108	"	=	8,80 "
133	"	=	13,10 "
159	"	=	19,50 "
216	"	=	42,10 "
267	"	=	61,90 "
318	"	=	85,30 "

Nach Gründung des Verbandes bis Ende 1931 wurden auf diese Preise z. B. für geschweißte und nahtlose schwarze Gasröhren von 1" und 2" die folgenden Rabattsätze berechnet:

	1"		2"	
	geschweißt %	nahtlos %	geschweißt %	nahtlos %
vom 1. 4. 1925	68	58	68,50	64,50
vom 10. 5. 1928	67,5	54,50	66	66
vom 13. 6. 1930	68,5	56	67	67
vom 14. 2. 1931	71	59,50	69,50	69,50
vom 18. 12. 1931	73,9	63,55	72,55	72,55

Die Tendenz geht also trotz Syndizierung nach unten, ein Beweis dafür, daß auch ein Syndikat den Erfordernissen der Volkswirtschaft Rechnung tragen muß.

Internationaler Verband.

Mit der Gründung des Röhrenverbandes wurden sogleich in richtiger Erkenntnis, daß das Kartell die besten Kräfte zum aussichtsreichen Auftreten auf dem Weltmarkt in sich vereinigt, Verhandlungen mit dem Ausland mit dem Ziel eines internationalen Röhrensyndikates aufgenommen. Internationale Abmachungen bestanden zwar im Röhrenhandel bereits seit 1881 zwischen den britischen, schottischen und deutschen Fabriken und einem belgischen Werk. Sie fußten auf der Grundlage gemeinsamer Verkaufspreise und Zahlungsbedingungen und galten als sogenannte „gentleman's agreements". Trotz dieser Bezeichnung wurden die Abmachungen von verschiedenen Seiten, wie bei den Konventionen im Inlande auch, durchbrochen, was abwechselnd Auflösung der Abmachungen und darauffolgende Wiederbildung in derselben losen Form bis zum Weltkriege zur Folge hatte. Nun griff 1925 der festgefügte deutsche Verband, der allein die Gewähr der Ausschaltung des nationalen Wettbewerbs auf dem Weltmarkte bot, die internationale Regelung auf und schloß zunächst ein Abkommen mit den Werken der Tschechoslowakei, dem durch geschickte Verhandlungen noch im gleichen Jahre Vereinbarungen mit der polnischen Bismarckhütte und 1926 mit der französisch-belgisch-saarländischen Gruppe und Ungarn folgten. Die aufgeführten Gruppen bildeten einen festgefügten Verband, der dem deutschen Röhrenverband genau nachgegliedert war und wie dieser sowohl die Inlands- als auch die Auslandsquoten dieser Werke erfaßte. In Düsseldorf erhielt dieser internationale Verband seinen Hauptsitz in Form einer Kontroll- und Abrechnungsstelle. Am 21. 11. 27. traten diesem internationalen Kartell schließlich noch die drei polnischen Werke:

Gornoslaskie Zjednoczone Huty Krolewska i Laura,
Société Comte Renard,
Towarzystwo Sosnowieckich Fabryk Rur i Zelaza, Sp. Akc.

bei, allerdings nur für den Auslandsabsatz.

Der Zusammenschluß der kontinentalen Werke allein hätte seinen Zweck der Hebung der Exportpreise nicht erreichen können, wenn er nicht zugleich auch die bedeutende Gruppe der britischen Werke mit zu erfassen versucht hätte. Erst nach längerem Preiskampfe gelang es schließlich im Dezember 1928 zunächst provisorisch in Düsseldorf und am 13. 4. 29 endgültig in London, die britischen Werke in den internationalen Vertrag einzubeziehen. Von den britischen Werken bildete die British Mannesmann Tube Co. eine Partei für sich ohne Gasrohrquote, nur für Bohr- und Leitungsrohre.

Nachdem den amerikanischen Werken durch die Webb-Pommerene Akte im Gegensatz zu der vorher gültigen Sherman-Akte wieder Kartellabmachungen für den Export erlaubt waren, wurden auch mit ihnen vom kontinentalen Verband aus Verhandlungen aufgenommen, die schließlich im Jahre 1929 unter gleichzeitigem Anschluß der kanadischen Röhrenwerke zu einem Abkommen zur Quotenbildung sowohl für Bohr- und Oelleitungsröhren, als auch für Gas-Wasser- und Dampfröhren führten.

Als oberste Instanz der Gesamtorganisation wurde nun die Einrichtung des General-Meetings beschlossen, in dem sämtliche Parteien vertreten sind und dessen Vorsitz immer die Gruppe führt, in deren Land es gerade tagt. Die Aufteilung der Aufträge sowie die Preisfestsetzung regelt ein regelmäßig zusammentretendes Komitee nach den Richtlinien des General-Meetings.

Im Gegensatz zum kontinentalen Kartell, das alle Rohrarten (Gasrohre, Siederohre, Oelleitungsrohre) bis zu 318 mm äußeren Durchmessers in einer Hauptquote für jedes Werk umfaßt, sind im internationalen Verband

1. die Siederohre nicht kartelliert und
2. besteht für jede Rohrgruppe ein Extravertrag auf Sonderquote

a) für Gas-, Dampf- und Wasserrohre,
b) Bohr- und Oelleitungsrohre und
c) für Lokomotiv-Siederohre (nur für die britischen Werke).

Das internationale Kartell gliedert sich in

1. den kontinentalen Röhrenverband, bestehend aus
   a) Röhrenverband G. m. b. H., Düsseldorf (Deutschland),
   b) Comptoir F. B. S. (Franco-Belgo-Sarrois), Paris,
   c) Evidenzbüro Ver. Tschechoslowakischer Röhrenwalzwerke, Prag,
   d) Bismarckhütte, Hajduki-Wielkie,
   e) Biuro Sprzedazy Polskich Walcowni Rur Sp., z., o. o., Katowice,
   f) Manfred Weiß, Aktiengesellschaft, Budapest.
2. die amerikanischen Werke,
3. die britischen Werke,
4. die British Mannesmann Tube Co (ohne Gasrohre),
5. die kanadischen Werke (nur für Gasrohre).

Die einzelnen Ländergruppen sind mit Ausnahme der tschechischen Gruppe, von der die Werke Einzelmitglieder sind, je mit einer Gesamtquote am Verband beteiligt.

Von der Tätigkeit des deutschen Röhrenverbandes wie des internationalen Röhrensyndikates läßt sich abschließend sagen, daß sie sich zu einem wesentlichen Faktor in der Regelung der Eisen- und Stahlwirtschaft ausgebildet haben und zwar dadurch, daß durch sie die Erzeugung in den Ländern scharf dem Bedarf angepaßt werden und Beunruhigungen vom Markt abgehalten werden konnten. Der Segen dieses Verbandes besonders auch für das deutsche Wirtschaftsleben, geht klar aus der nachstehenden Zusammenstellung der Produktion und Ausfuhr in Deutschland vor der Verbandszeit und seit Bestehen des Syndikats hervor:

Die Produktion und Ausfuhr schmiedeeiserner Röhren Deutschlands:

Jahr	Produktion in 1000 t	Ausfuhr in 1000 t	Verhältnis der Ausfuhr zur Produktion in %	
1913	750	306,7	40,9	
1922	515	136	26,4	
1923	209	53	25,3	
1924	476	88	18,5	
1925	637	241	37,7	Gründung des
1926	661	307	46,2	Röhrenverbandes
1927	787	272	34,6	
1928	828	338	40,8	
1929	906	368	40,6	
1930	634	275	43,3	
1931	404	236	58,5	
1932	272	142	52,2	

Das internationale Abkommen hat sich infolge Sicherung der Absatzquoten des Weltbedarfs an Röhren für alle angeschlossenen Werke, besonders durch die Verbesserung des Verhältnisses unserer Ausfuhr zur Produktion und der damit besonders in der Krisenzeit ermöglichten Verhinderung der Einfuhr aus währungsschwächeren Ländern und der mit beiden zusammenhängenden Beschäftigung deutscher Arbeiter als Segen für unsere nationale Wirtschaft erwiesen.

LITERATUR.

Bücher und Broschüren.

Bardtke, P.: Gemeinfaßl. Darstellung der gesamten Schweißtechnik, Berlin 1927.

Bogner, Herbert: Die Wandlungen in der Organisation in der deutschen Stahlindustrie und ihre Ursachen, Diss. Heidelberg 1930.

Bousse, A.: Die Fabrikation nahtloser Stahlrohre, Hannover 1908.

Feldhaus, F. M.: Deutsche Industrie, deutsche Kultur, Berlin 1900.

Gleitmann, Hans: Die wirtschaftliche Bedeutung der deutschen Gaswerke, München 1910.

Gruber, Karl: Ueber die Herstellung nahtloser Rohre unter besonderer Berücksichtigung des Mannesmann-Schrägwalzverfahrens, Breslau 1919.

Gruber, Karl: Ueber Querwalzverfahren zur Herstellung großer nahtloser Rohre. Aachen 1930.

Hartmann, Paul: Konzentration und Kartellierung in der Röhrenindustrie, Heidelberg 1923.

Hertz, Joh.: Die Konzentrationsbewegung in der Gasindustrie Deutschlands, Halle 1929.

Hillmer, W.: Die Absatzorganisation der deutschen Fahrradindustrie, München 1931.

v. Jüptner, H.: Allgemeine Energiewirtschaft. Leipzig 1927.

Kayser, L.: Die Herstellung geschweißter Rohre mittels der Azetylenschweißung, Aachen 1929.

Kocks, Fritz: Das Schrägwalzen, Dresden 1926.

Liefmann: Kartelle und Trusts, 1924.

Oberhofer, P.: Das technische Eisen. Berlin 1925.

Praetorius, E.: Wärmewirtschaft im Kessselhaus, Dresden und Leipzig 1930.

Puppe, Joh.: Walzwerkswesen, Düsseldorf 1929.

Röll: Enzyklopädie des Eisenbahnwesens, Berlin und Wien 1924.

Schüle, W.: Technische Thermodynamik, 5. Aufl., Berlin 1930.

Wiedenfeld: Die deutsche Wirtschaft und ihre Führer, Gotha 1925.

Sombart, W.: Der moderne Kapitalismus, II. Band, 6. Aufl., München und Leipzig 1924.

Sombart, W.: Das Wirtschaftsleben im Zeitalter des Hochkapitalismus, München und Leipzig 1927.

Wolff, Erich: Die Unternehmungsorganisation in der Westdeutschen Eisenindustrie, Berlin 1930.

Wolff, C.: Die Verwendung von siliziertem und unsiliz. Stahl zur Herstellung von nahtlosen Röhren nach dem Schrägwalz- und Pilgerschrittverfahren, Bericht Stahlwerks-Ausschuß V. D. E. Nr. 100 (1925),

Vollbrecht, W.-Sternburg-Raasch: Das Gas in der deutschen Wirtschaft, Berlin 1929.

— Deutsche Montankonzerne 1929 — Spezialarchiv der deutschen Wirtschaft, Berlin 1929.

— Gemeinfaßliche Darstellung des Eisenhüttenwesens, V.D.E. 1921 und 1929.

— Statistiken des Deutschen Reiches.

— Statistische Jahrbücher deutscher Städte, 5., 10., 22., 24., 25., 26. Jahrgang.

— Statistik Bayerns, Band 120, München 1930.

— Jahrbücher des Vereins Deutscher Ingenieure, Berlin.

— Werkstattstechnik, Berlin, Jahrgang 1928.

— Handbuch der deutschen Aktiengesellschaften, Berlin, Jahrgänge 1900—1931.
— Konzerne der Deutschen Eisen- und Stahlindustrie, Spezial-Archiv der Deutschen Wirtschaft, Berlin 1933.

Zeitschriften und Prospekte:

Demag-Nachrichten, Sonderheft, 2. Weltkraftkonferenz, Berlin 1930.
Kölnische Zeitung.
Kölnische Zeitung, 125. Jahresfestschrift.
Stahl und Eisen, Düsseldorf.
Die Röhrenindustrie, Berlin.
Jahresberichte der Mannesmann-Röhrenwerke, Düsseldorf.
Zeitschrift des Bayr. Revisions-Vereins, München.

LEBENSLAUF

Am 12. Februar 1897 wurde ich, Franz Emil Albert Köhler, als Sohn des Kaufmanns Otto Köhler und seiner Ehefrau Berta, geb. Deckert geboren und evangelisch getauft. Nach Besuch der Bürgerschule absolvierte ich die Kgl. Kaiser Wilhelm-Oberrealschule in Suhl, an der ich am 6. Juni 1916 die Reifeprüfung bestand. Nach praktischer Ausbildung als Vorbereitung zum Studium der Ingenieurwissenschaften bei der Kgl. Eisenbahnhauptwerkstatt in Meiningen und bei der Fa. Sauer & Sohn in Suhl trat ich im Oktober 1916 in den Heeresdienst ein. Als Angehöriger der Funkerabteilung des Garde-Telegr. Bataillons nahm ich am Weltkriege auf dem östlichen und südöstlichen Kriegsschauplatz teil. Im März 1919 kam ich mit meinem Truppenteil am Schwarzen Meer in Gefangenschaft und wurde in Saloniki interniert. Aus dieser Gefangenschaft kehrte ich im August 1919 nach Deutschland zurück.

Von 1919 bis 1922 studierte ich zunächst 4 Semester an der Technischen Hochschule zu Berlin und darauf bis zur Ablegung der Diplom-Hauptprüfung im Oktober 1922 an der Technischen Hochschule zu Braunschweig und zwar in der Fakultät für Allgemeinen Maschinenbau. Am 1. November 1922 trat ich als Diplomingenieur in die Dienste der Firma Ammoniakwerk Merseburg G. m. b. H. Mein wirtschafts- und staatswissenschaftliches Studium begann bereits auf den Technischen Hochschulen Berlin und Braunschweig. Ich ergänzte dieses vom W. S. 1931/32 bis einschl. S. S. 1933 in der Rechts- und Staatswissenschaftlichen Fakultät an der Universität Halle-Wittenberg.

Verzeichnis der Dozenten, bei denen der Verfasser während seines Studiums gehört hat:

Priv. Doz. Dr. Jecht, Halle,
Prof. Dr. Aubin, Halle,
Prof. Dr. Bilfinger, Halle,
Prof. Dr. Brodnitz, Halle,
Prof. Dr. Jahn, Halle,
Prof. Dr. Wolff, Halle,
Prof. Dr. Hanemann, Berlin,
Prof. Dr. E. Heyn, Berlin,
Prof. Dr. Josse, Berlin,
Prof. Dr. Kammerer, Berlin,
Prof. Dr. Kurlbaum, Berlin,
Prof. Dr. Eugen Meyer, Berlin,
Prof. Dr. E. Reichel, Berlin,
Prof. Dr. Julius Wolf, Berlin,
Prof. Denecke, Braunschweig,
Prof. Düll, Braunschweig,
Prof. Dr. Föppl, Braunschweig,
Prof. Friedemann, Braunschweig,
Prof. Dr. Fricke, Braunschweig,
Prof. Dr. Schmitz, Braunschweig,
Prof. Dr. Pfleiderer, Braunschweig.